การออกแบบและพัฒนาตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเพียโซอิเล็กทริก

Design and Development of Braille Display with Piezoelectric Device

ธีรพงษ์ ฉิมเพชร

Teerapong Chimphet

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Electrical Engineering

Prince of Songkla University

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การออกแบบและพัฒนาตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเพียโซอิเล็กทริก

Design and Development of Braille Display with Piezoelectric Device

ธีรพงษ์ ฉิมเพชร

Teerapong Chimphet

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University
2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเพียโซอิเล็กทริก
ผู้เขียน นายธีรพงษ์ ฉิมเพชร
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

…….
(ดร.มณเทพ เกียรติวีระสกุล**)**

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

…….
(รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

…….
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาวิตร์ ตัณฑนุช)

คณะกรรมการสอบ

…….ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์)

……..กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล)

……..กรรมการ
(ดร.มณเทพ เกียรติวีระสกุล)

……..กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

……..กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาวิตร์ ตัณฑนุช)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

……
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....
(ดร.มณเทพ เกียรติวีระสกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายธีรพงษ์ ฉิมเพชร)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายธีรพงษ์ ฉิมเพชร)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริก
ผู้เขียน นายธีรพงษ์ ฉิมเพชร
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มความสะดวกและความรวดเร็วในการรับรู้ข้อมูลให้กับผู้บกพร่องทางด้านการมองเห็น แต่จากการศึกษาถึงวิธีการรับรู้ข้อมูลของผู้บกพร่องทางการมองเห็นในประเทศไทยพบว่า มีผู้บกพร่องทางการมองเห็นจำนวนมากยังขาดโอกาสที่จะเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าว เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ที่มีราคาสูง ส่งผลให้ผู้บกพร่องทางการมองเห็นไม่สามารถที่จะรับรู้ข้อมูลและแสดงศักยภาพของตนเองได้เทียบเท่าบุคคลปกติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์โดยใช้ฝ่ามือเป็นบริเวณรับสัมผัส เพื่อลดช่องว่างในการรับรู้ข้อมูลให้กับผู้บกพร่องทางการมองเห็น โดยการประยุกต์ใช้การเคลื่อนตัวจากปรากฏการณ์ “ผกผันเปียโซอิเล็กทริก”ของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ขนาด 18 mm มาเป็นตัวขับเคลื่อนการแสดงผล จากนั้นทำการทดสอบเพื่อทำการออกแบบตัวอุปกรณ์ซึ่งได้แก่ ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดในการแสดงผล ผลตอบสนองความถี่ที่มีต่อการรับรู้ของฝ่ามือ ระยะห่างของจุดกระตุ้น และวิธีการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ นำผลที่ได้จากการออกแบบอุปกรณ์เป็นตัวทดสอบหาประสิทธิภาพในการทำงาน คือ ความสามารถในการแยกแยะและระบุจุดแสดงผล ระยะเวลาในการรับรู้ข้อมูลของผู้ทดลองและอัตราการใช้พลังงานของอุปกรณ์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบ edge supporting จะให้ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดคือ 1.2 μm และทำให้เกิดความถี่สั่นพ้องของตัวแสดงผลที่ 1.3 kHz โดยระยะห่างของจุดกระตุ้นที่เหมาะสมในการรับสัมผัสคือ 15 mm อีกทั้งช่วงความถี่ที่มีต่อการรับรู้ของฝ่ามือจะมีค่าประมาณ 180-300 Hz ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานพบว่า การแยกแยะและระบุจุดแสดงผลของผู้ทดลองก่อนการฝึกฝนการใช้งานอุปกรณ์นั้นจะให้ค่าความถูกต้องที่ต่ำคือประมาณ 25-40 % แต่เมื่อมีการฝึกฝนเป็นระยะเวลาหนึ่งจะพบได้ว่าค่าความถูกต้องจะแปรผันตรงกับระยะเวลาในการฝึกฝน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 65-70% และผลของอัตราการใช้พลังงานนั้นพบว่าเทคนิคการแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะมีค่าการใช้พลังงานต่ำกว่าเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นๆ

คำสำคัญ: อักษรเบรลล์ เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ผันกลับเปียโซอิเล็กทริก

Thesis Title Design and Development of Braille Display with Piezoelectric Device

Author Mr. Teerapong Chimphet

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2012

Abstract

A Braille display is an electronic device that helps the visually impaired people to recognize information easily and rapidly. However, the study on the recognition of the visually impaired people in Thailand indicates that there are more visually impaired people lose their opportunity to use the Braille display devices. This is because the Braille equipment is a high-cost commercial product; they may not be able to purchase by themselves. As a result, the visually impaired people cannot learn more knowledge and cannot efficiently show their abilities, like the normal people. According to this research problem statement, this thesis aims to design and develop the Palm Braille Display using the piezoelectric transducer. The inverse piezoelectric phenomenon of the 18 mm piezoelectric transducer is applied for driving the stimulated point or the pole of the design device. Note that the stimulated point is employed to display the information. To design the Braille device, the maximum displacement of the poles, the frequency response of the palm sensation, the distance between stimulated points, and the different supporting methods of the piezoelectric transducer are investigated. The performance of the design device is evaluated by the capability of the subjects (visually impaired people) to recognize the information as displayed on the stimulated point, time to sense the information of the subjects, and the power consumption of the design device. The experimental results demonstrate that the edge supporting method presents the best performances. The maximum displacement is 1.2 μm with 1.3 kHz resonant frequency. The appropriate distance between the stimulated points is 1.5 cm, and the response frequency of the human palm ranges from 180 to 300 Hz. For the result of the performance evaluation, the capability to recognize the information of the subjects without training is about 25-40%. However, the recognized performance of the subjects after training significantly increases to 65-70%. In addition, the power consumption of the Braille display with piezoelectric transducer is lower compared with existing techniques.

Keywords: Braille piezoelectric transducer inverse piezoelectric

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (8)
รายการตาราง (11)
รายการภาพประกอบ (12)
บทที่
1. บทนำ ... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย ... 1
1.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ... 2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ... 9
1.4 ขอบเขตการวิจัย ... 9
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย ... 9
1.6 คุณค่าของงานวิจัย ... 12
2. ทฤษฎี ... 13
2.1 วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ... 13
2.1.1 ความเป็นมาของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ... 13
2.1.2 หลักการและพฤติกรรมของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ... 14
2.1.3 ความถี่ธรรมชาติและโหมดการสั่นของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ... 16
2.1.4 การวัดคุณสมบัติของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ... 17
2.2 อักษรเบรลล์ ... 18
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของอักษรเบรลล์ ... 18
2.2.2 วิวัฒนาการอักษรเบรลล์ภาษาไทย ... 19
2.2.3 การอ่านและการเขียนอักษรเบรลล์ในปัจจุบัน ... 20
2.2.4 อักษรเบรลล์ภาษาไทย ... 20
2.2.5 สรุปหลักการเขียนอักษรเบรลล์ภาษาไทย ... 24
2.3 ระบบการรับสัมผัส ... 25
2.3.1 ระบบรับสัมผัสบนฝ่ามือ ... 27
2.3.2 การแยกแยะจุดกระตุ้นบนผิวหนัง ... 30
2.4 หลักการของงานวิจัย ... 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วัสดุ อุปกรณ์การทดลอง..... 33
3.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 33
3.1.1 การทดลองหาความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ด้วยอิมพิแดนซ์และมุมเฟสเซอร์..... 33
3.1.2 การทดลองการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละระดับของแรงดันไฟฟ้า.....34
3.1.3 การทดสอบการเคลื่อนตัวในกรณีที่มีการวางซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ . 37
3.2 การทดลองประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 37
3.2.1 การทดลองรูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 38
3.2.2 การทดลองระยะห่างของจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัส..... 40
3.2.3 การทดลองหาความถี่ที่เหมาะสมในการรับสัมผัส..... 41
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปลข้อความปกติเป็นรูปแบบอักษรเบรลล์..... 43
3.4 การเก็บข้อมูลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็น..... 45
3.4.1 การทดลองการแยกแยะจุดแสดงผลอักษรเบรลล์..... 45
3.4.2 การทดลองหาช่วงความเร็วหรือช่วงเวลาในการรับรู้ข้อมูล..... 46
3.5 การทดลองการใช้พลังงานในการแสดงผลอักษรเบรลล์..... 47
3.6 อุปสรรคระหว่างการวิจัย..... 48
4. การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 49
4.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 49
4.1.1 การทดลองหาความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ด้วยอิมพิแดนซ์และมุมเฟสเซอร์.....49
4.1.2 การทดลองการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละระดับของแรงดันไฟฟ้า..... 50
4.1.3 การทดสอบการเคลื่อนตัวในกรณีที่มีการวางซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 52
4.2 การทดลองประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 การทดลองรูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์……..……..54
4.2.2 การทดลองระยะห่างของจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัส ……..……57
4.2.3 การทดลองหาความถี่ที่เหมาะสมในการรับสัมผัส……...58
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปลข้อความปกติเป็นรูปแบบอักษรเบรลล์..... 59
4.4 การเก็บข้อมูลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็น 62
4.4.1 การทดลองการแยกแยะจุดแสดงผลอักษรเบรลล์……62
4.4.2 การทดลองหาช่วงความเร็วหรือช่วงเวลาในการรับรู้ข้อมูล……....70
4.5 การทดลองการใช้พลังงานในการแสดงผลอักษรเบรลล์..... 72
5. สรุปและวิจารณ์..... 74
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง……...……...75
5.1.1 สรุปผลการทดลองการศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..74
5.1.2 สรุปผลการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จาก เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ …….....75
5.1.3 สรุปผลการทดลองการเก็บข้อมูลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็น…..……..75
5.1.4 สรุปผลการทดลองการใช้พลังงานในการแสดงผลอักษรบรลล์…….……..…...76
5.2 ข้อเสนอแนะ…… …….77
บรรณานุกรม…….……..... 78
ภาคผนวก……...80
ประวัติผู้เขียน …….. 104

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

1-1 ดำเนินงานวิจัย 11
2-1 แสดงรูปทรงและทิศทางการยืดหดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 17
2-2 การเทียบเสียงของพยัญชนะเพื่อออกแบบอักษรเบรลล์ภาษาไทย 19
2-3 พยัญชนะที่มี 1 เซลล์ ก – ซ 21
2-4 พยัญชนะที่มี 1 เซลล์ ด – ฟ 21
2-5 พยัญชนะที่มี 1 เซลล์ ส– ฮ 21
2-6 สระเดี่ยวที่เขียนตามหลังพยัญชนะ 21
2-7 พยัญชนะที่มีสองเซลล์และใช้จุด 6(●) นำหน้า 22
2-8 พยัญชนะที่มีสองเซลล์และใช้จุด 3,6 (●●) นำหน้า 22
2-9 พยัญชนะที่มีสองเซลล์และใช้จุด 3,5,6 (●⁘) นำหน้า 22
2-10สระเดี่ยวที่เขียนข้างหน้าพยัญชนะต้น 23
2-11สระประสมหนึ่งเซลล์ที่เขียนหน้าพยัญชนะต้น 23
2-12สระประสมสองเซลล์ที่เขียนหลังพยัญชนะต้น 23
2-13เครื่องหมายวรรคตอนและวรรณยุกต์ 24
3-1 พารามิเตอร์เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 37
3-2 ข้อมูลผู้เข้าร่วมการทดลอง 42
4-1 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องการแสดงผลอักษรเบรลล์ 61
4-2 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการแยกแยะจุดกระตุ้นก่อนและหลังการฝึกฝน 63
4-3 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นก่อนและหลังการฝึกฝน 65
4-4 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้น
แบบไม่มีจุดอ้างอิงและมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามือ 67
4-4 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้น
แบบไม่มีจุดอ้าง อิงและมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามือ(ต่อ) 68

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1-1 อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์แบบโซลินอยล์ 1
1-2 มอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ SMA coil 3
1-3 มอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบโซลินอยล์ 3
1-4 โครงสร้างการทำงานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ 4
1-5 โครงสร้างมอดูลอักษรเบรล์ลแบบ PDMS membrane 5
1-6 โครงสร้างมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ piezoelectric bimorph 6
1-7 มอดูลการแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยระบบนิวเมติกส์ 7
1-8 โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ Braille mobile phone 8
1-9 ไดอะแกรมระบบการรับส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ 11
2-1 ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกแบบตรง ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกแบบผันกลับ 14
2-2 เครื่องหมายแกนและ แกนเฉือนวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 16
2-3 ลักษณะอักษรเบรลล์ 18
2-4 ตัวอย่างตัวรับความรู้สึก 26
2-5 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Merkel receptor 28
2-6 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Meissner's corpuscle 28
2-7 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Pacinian corpuscle 29
2-8 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Ruffini ending 29
2-9 ขีดความสามารถบนร่างกายในการแยกแยะจุดสองจุด 31
2-10 ลักษณะเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย 32
3-1 การทดลองวัดค่าอิมพิแดนซ์และเฟสซอร์ ……..……..34
3-2 การทดสอบการทำงานในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้า 35
3-3 การออกแบบเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์บนโปรแกรมสำเร็จรูป……..……..…37
3-4 การออกแบบการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 39
3-5 การทดสอบการเคลื่อนตัวแต่ละรูปแบบการติดตั้ง 39
3-6 รูปแบบการทดสอบตำแหน่งของจุดรับสัมผัส 40
3-7 การมอดูลเลชันความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซฯกับความถี่ที่มนุษย์รู้สึก 41

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

3-8 วิธีการทดลองหาค่าความถี่ในการรับรู้สัมผัส 43
3-9 กระบวนการแปลงข้อมูลและการแสดงผลอักษรอักษรเบรลล์ 44
3-10 การฝึกฝนและการทดสอบการแยกแยะจุดแสดงผล 46
4-1 คุณสมบัติทางด้านความถี่ของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์……49
4-2 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละระดับแรงดัน ..... .50
4-3 ความแตกต่างในการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์..... 51
4-4 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 52
4-5 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวนสองเลเยอร์……...53
4-6 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวนสามเลเยอร์……...53
4-7 การเกิดระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละรูปแบบการคิดตั้งเปียโซ
อิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์……..54
4-8 รูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบ Edge supporting ...…….....55
4-9 ระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z สำหรับ edge supporting 56
4-10 วงจรสมมูลทางกลและทางไฟฟ้าของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์……..56
4-11 คะแนนความพึงพอใจของระยะกระตุ้นจากผู้เข้าร่วมทดสอบ..... 57
4-12 ระยะจุดกระตุ้นที่ได้จากการทดลอง……58
4-13 ความถี่ที่ฝ่ามือรับรู้สึกถึงการกระตุ้นด้วยแรงสั่นสะเทือน 59
4-14 กระบวนการแยกคำไทยออกจากประโยค 60
4-15 ผลการณ์ทดสอบประสิทธิภาพการแยกคำไทยออกจากประโยค..... 60
4-16 ตัวอย่างการแปลงข้อความเป็นเบรลล์ด้วยโปรแกรม TBTW 62
4-17 ตัวอย่างการแปลงข้อความเป็นเบรลล์จากชุดคำสั่งที่พัฒนาบน LabVIEW 62
4-18 ค่าเฉลี่ยแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการแยกแยะจุดกระตุ้นก่อน
และหลังการฝึกฝน…...……..……64
4-19 ค่าเฉลี่ยแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้น
ก่อนและหลังการฝึกฝน ……66

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

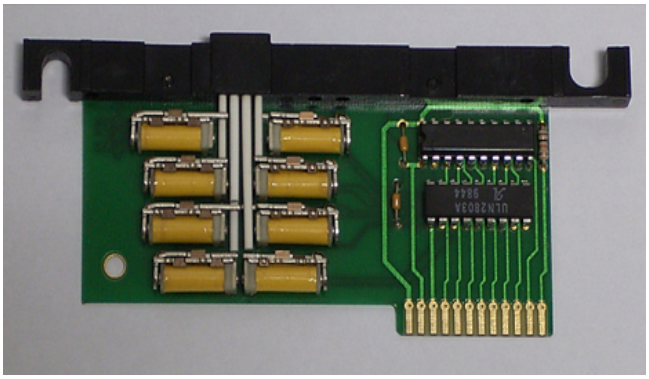
ภาพประกอบ **หน้า**

4-20 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้น
แบบไม่มีจุดอ้าง อิงและมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามือ…….. …...……..……68
4-21 การเปรียบเทียบความสามารถในการรับรู้ข้อมูลระหว่างการใช้อุปกรณ์แสดงผล
อักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์กับรูปแบบอักษรเบรลล์ที่นิยมใช้กัน
ในปัจจุบัน ..……69
4-22 ระยะเวลาเฉลี่ยในการแสดงผลของพยัญชนะ (T_{on})…… ……..……....71
4-23 ระยะเวลาเฉลี่ยในการเปลี่ยนการแสดงผลของพยัญชนะ (T_{off})..…… ……...71
4-24 อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าต่อจำนวนจุดกระตุ้นในการแสดงผลอักษรเบรลล์…….....72
4-25 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยกระตุ้น……..……..73

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

จากการสำรวจสถิติผู้พิการของสำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการแห่งชาติในปี 2554 พบว่าผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นทั้งหมดของประเทศไทยมีจำนวน 132,298 คน [1] ซึ่งปัญหาหลักของผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นจำนวนดังกล่าว คือการศึกษาและการรับรู้ข้อมูล โดยการรับรู้ข่าวสารแบบการอ่านของผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นในปัจจุบันนั้นยังต่างจากผู้ที่มีสายตาปกติ เนื่องจากองค์ความรู้ต่างๆจะถูกถ่ายทอดลงบนหนังสือหรือข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนใหญ่ โดยที่ความรู้และข้อมูลข่าวสารเหล่านั้นยังไม่ได้ดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ “อักษรเบรลล์” ส่งผลให้ผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นขาดโอกาสที่จะศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมได้เทียบเท่าบุคคลปกติ และยังขาดโอกาสที่จะได้แสดงศักยภาพของตนเองให้ผู้อื่นได้รับรู้ ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่พัฒนาเกี่ยวกับตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ขึ้นโดยได้นำเสนอเทคนิคและวิธีการต่างๆประกอบด้วย การพัฒนาซอฟแวร์ในการเปลี่ยนข้อความให้เป็นเสียง [2] และเครื่องแสดงผลอักษรเบรลล์โดยอาศัยการทำงานจากขดลวดโซลินอยล์แสดงดังภาพประกอบ 1-1 ระบบนิวเมติกส์ ฮีตเตอร์ และ piezoelectric bimorph เป็นต้น



ภาพประกอบ 1-1 อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์แบบโซลินอยล์[5]

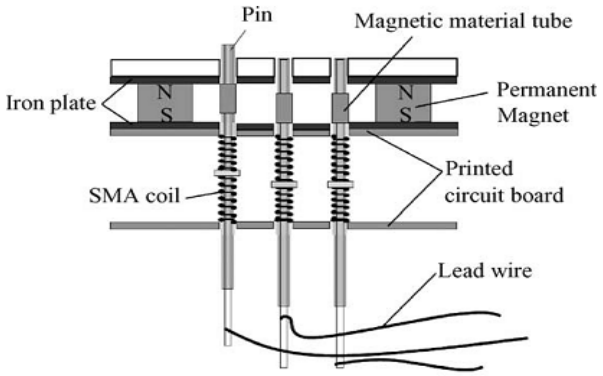
ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวพบว่าอุปกรณ์แสดงผลเชิงพาณิชย์ทั่วไปมีการใช้พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนการแสดงผลนั้นค่อนข้างสูงและรวมไปถึงต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์แสดงผลยังมีราคาสูง ส่งผลให้ผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีตัวนี้

ได้ง่าย งานวิจัยนี้นำเสนอถึงการสร้างระบบและอุปกรณ์การรับรู้ข้อมูลสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นโดยนำวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์มาใช้งานเพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ ซึ่งวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ดังกล่าวจะใช้พลังงานในการทำงานต่ำ[3] และมีราคาถูกสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตตัวแสดงผลอักษรเบรลล์มีราคาถูกลง ซึ่งสามารถพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์เชิงพาณิชย์ได้ ทำให้ผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ง่ายและสะดวก อันจะนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นต่อไป

1.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

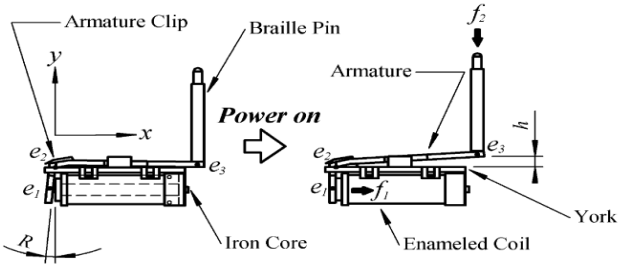
ในการทบทวนบทความวิจัยที่ผ่านมา ได้ให้ความสำคัญไปที่ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ เพื่อให้สามารถผลิตได้ง่าย และมีราคาถูก มีบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.2.1 บทความของ (Yoichi H. et al., 2005) เรื่อง Dynamic Braille display using SMA coil actuator and magnetic latch [4] ได้นำเสนอการพัฒนามอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ ด้วยหลักการเคลื่อนที่ขึ้นลงของขดลวดโลหะจำรูป shape memory alloy (SMA) โดยโครงสร้างของมอดูลประเภทนี้ถูกออกแบบให้ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นขดลวดโลหะจำรูปสองส่วนต่อหนึ่งจุดแสดงผล แต่ละส่วนจะมีจุดร่วมสำหรับจ่ายพลังงาน หลักการทำงานของมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ชนิดนี้ จะทำงานเมื่อมีการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดโลหะจำรูปในส่วนใดส่วนหนึ่ง หากทำการจ่ายพลังงานในส่วนบนของขดลวดโลหะ ตัวแสดงผลจุดนูนก็จะเคลื่อนที่ลงเนื่องจากเกิดการขยายตัวของขดลวดโลหะจำรูปอันเนื่องมาจากเกิดความร้อนสะสมภายในขดลวดโลหะจำรูปส่วนบน ในทางกลับกันถ้าต้องการให้ตัวแสดงผลจุดนูนเคลื่อนที่ขึ้น สามารถทำได้โดยจ่ายพลังงานเข้าไปในส่วนล่างของขดลวดโลหะจำรูป โดยที่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กนั้นจะทำหน้าที่รักษาตำแหน่งของตัวแสดงจุดนูนนั้นให้คงที่ด้วยอำนาจแม่เหล็กในขณะหยุดจ่ายพลังงานให้กับขดลวดโลหะ ผลการทดลองของงานวิจัยชุดนี้ได้เสนอว่า สามารถที่จะแสดงจุดนูนจากมอดูลที่พัฒนาขึ้นได้ 1.0 mm เกิดแรงในการขับเคลื่อนมากกว่า 8gf (gram-force) ซึ่ง 101.9716 gf จะมีค่าเท่ากับ 1 N กระแสที่ใช้ในการขับเคลื่อนอยู่ที่ 300 mA โครงสร้างการทำงานแสดงดังภาพประกอบที่ 1-2



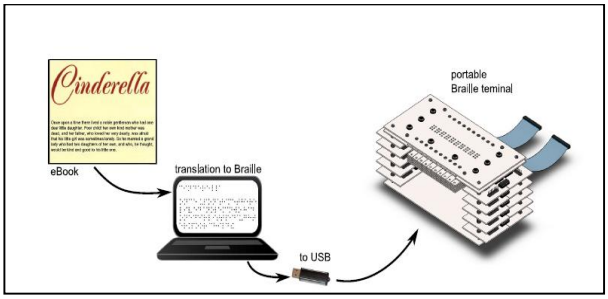
ภาพประกอบ 1-2 มอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ SMA coil [4]

1.2.2 บทความของ (Fung H. Y. et al., 2007) เรื่อง Mechanism design of the flapper actuator in Chinese Braille display [5] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ และวิเคราะห์การทำงานทางด้านกลไก รวมไปถึงการวิเคราะห์หาการโอนถ่ายความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัวมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ โดยโครงสร้างการทำงานของมอดูลใช้หลักการของอำนาจแม่เหล็ก ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกับโซลินอยล์ ในขณะที่มีการจ่ายพลังงานให้กับคอยล์จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างวัสดุที่เป็นโลหะกับขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า จึงส่งผลให้เกิดการกระดกตัวของโลหะขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำคุณสมบัติข้างต้นมาใช้เป็นตัวขับเคลื่อนในการแสดงผล จากการวิเคราะห์ผลพบว่าสามารถที่จะสร้างขนาดของแรงในการแสดงผลจุดนูนได้ถึง 15.9 gf (gram-force)หรือมีค่าเท่ากับ 0.156 N ที่ระดับแรงดัน 6โวลต์ จะเกิดความร้อนสะสมบนตัวขดลวดโลหะมีค่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง จึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบระบายความร้อนเพื่อยืดระยะการทำงานของคอยล์ สังเกตุได้ว่าเทคนิคการแสดงผลดังกล่าวมีข้อเสียคือต้องสิ้นเปลืองพลังงานให้กับระบบระบายความร้อน โครงสร้างการทำงานแสดงดังภาพประกอบ 1-3



ภาพประกอบ 1-3 มอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบโซลินอยล์[5]

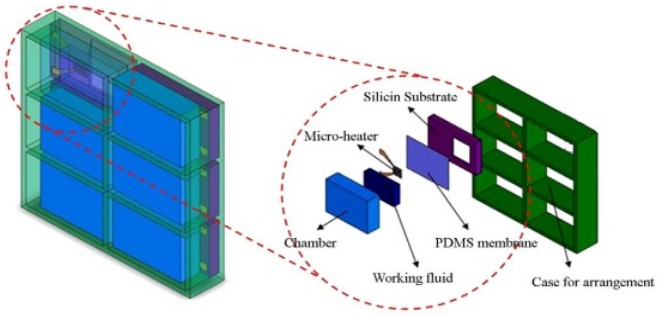
1.2.3 บทความของ (Ramiro V. et al., 2010) เรื่อง A Portable eBook Reader for the Blind[6] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาสำหรับการอ่านของผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็น โดยการทำงานของเครื่องมือสื่อสารดังกล่าวจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่แปลข้อความแบบอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์ ไปเป็นรหัส อักษรเบรลล์ โดยที่คุณสมบัติพิเศษของสิ่งประดิษฐ์ชุดนี้คือสามารถทำการเก็บไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการแปลให้เป็นรหัสอักษรเบรลล์แล้วนั้นลงไปในหน่วยความจำแบบ USB ซึ่งเป็นตัวที่เพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็น ในกรณีที่ผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นนั้นต้องการอ่านข้อมูล ก็สามารถที่จะนำหน่วยความจำแบบ USB เสียบเข้ากับเครื่องมือสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา ตัวเครื่องก็จะทำหน้าที่อ่านไฟล์ข้อมูลที่บันทึกอยู่ในหน่วยความจำ เพื่อที่จะแสดงผลออกในลักษณะที่เป็นจุดนูน ทำให้ผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็นสามารถอ่านข้อมูลเหล่านี้ได้โดยไม่จำเป็นต้องนำคอมพิวเตอร์ติดตัวไปด้วยสามารถพกพาได้สะดวก โดยหลักการขับเคลื่อนการทำงานในแต่ละเซลล์จะใช้หลักการทำงานแบบ piezoelectric ultrasonic linear motor ซึ่งรูปแบบการทำงานแสดงดังภาพประกอบที่ 1- 4



ภาพประกอบ 1-4 โครงสร้างการทำงานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์[6]

จากภาพประกอบที่ 1-4 แสดงการทำงานของระบบแสดงผลอักษรเบรลล์ โดยที่ระบบจะประกอบไปด้วยข้อความที่อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ แล้วจะถูกเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปแบบของรหัสอักษรเบรลล์ด้วยคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟแวร์ไว้ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แสดงผลโดยตรง หรือจะใช้หน่วยความจำพกพาแบบ USB ในการบันทึกข้อมูลแล้วทำการแสดงผลภายหลังก็ได้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ที่มีความบกพร่องในการมองเห็น

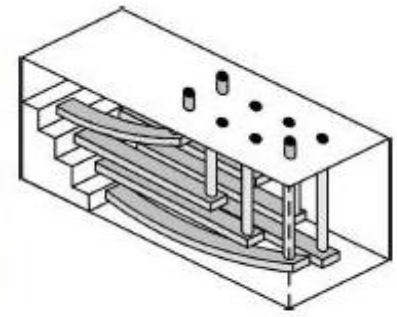
1.2.4 บทความของ (Hyuk-J. K. et al., 2009) เรื่อง Braille dot display module with a PDMS membrane driven by a thermopneumatic actuator [7] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนามอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยหลักการเมมเบรน poly-dimethylsiloxane (PDMS) ในการสร้างจุดแสดงผลเพื่อให้เกิดเป็นรหัสของอักษรเบรลล์ โดยที่ความพิเศษอยู่ที่โครงสร้างของมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ที่สามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจากไมโครฮีตเตอร์ เพื่อไม่ให้บริเวณผิวหน้ามอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์เกิดความร้อนขึ้นในกรณีที่มีการแสดงผล โดยการทำงานของมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ในงานวิจัยนี้ จะใช้ความร้อนที่สร้างจากไมโครฮีตเตอร์ไปกระตุ้นสารเคมี ชนิด (3M PF-5060) เพื่อให้สารเคมีตัวนี้เกิดการขยายตัวขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดการขยายตัวของสารนั้นจะทำให้เกิดแรงดันภายในทำให้เยื่อแผ่น PDMS ที่มีคุณสมบัติทนความร้อนและสามารถยืดขยายตัวได้เกิดการนูนตัวขึ้นมา ทำให้เกิดเห็นเป็นจุดนูนบริเวณผิวหน้าของมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์ โดยการนูนตัวขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับความร้อนที่ไมโครฮีตเตอร์นั้นสามารถผลิตได้ โดยผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ระบุไว้ว่าเมื่อทำการจ่ายพลังงานเข้าไปให้กับมอดูลตั้งแต่ 0 - 1.78 W จะทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียสไปเป็น 115 องศาเซลเซียส โดยที่กระแสที่จ่ายให้กับไมโครฮีตเตอร์นั้นมีค่าเพียง 0.11แอมแปร์ ในการทดลองอีกส่วนหนึ่งได้ทำการทดลองจ่ายพลังงานที่ค่า 0.75 W ซึ่งพบว่าจุดนูนที่เกิดขึ้นมีระดับความสูงอยู่ที่ 42 ไมโครเมตร โครงสร้างการทำงานแสดงดังภาพประกอบที่ 1-5



ภาพประกอบที่ 1-5โครงสร้างมอดูลอักษรเบรล์ลแบบ PDMS membrane [7]

จากภาพประกอบที่ 1-5 แสดงถึงโครงสร้างของมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบเมมเบรน PDMS ซึ่งจะเห็นว่าโครงสร้างของมอดูลแบบนี้ประกอบด้วย ไมโครฮีตเตอร์ สารทำงานที่มีคุณสมบัติในการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูง เมมเบรนPDMS ซึ่งส่วนประกอบดังกล่าวจะติดตั้งอยู่ในแต่ละจุดของตัวแสดงผล

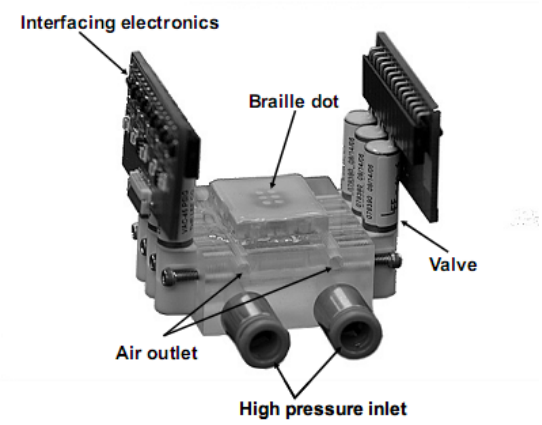
1.2.5 บทความของ (Mad Saad S. et al., 2010) เรื่อง Development of Piezoelectric Braille Cell Control System Using Microcontroller Unit (MCU) [8]ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบในการควบคุมตัวแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ piezoelectric bimorph โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน ซึ่งจุดเด่นของตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ในงานวิจัยนี้คือ การใช้piezoelectric ชนิด piezoelectric bimorph ซึ่งมีคุณสมบัติคือเมื่อได้รับพลังจะเกิดการโก่งตัวของวัสดุขึ้นซึ่งงานวิจัยนี้ก็ได้นำเอาคุณสมบัติดังกล่าวมาพัฒนาเป็นตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ ในส่วนระบบการทำงานโดยรวมจะประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อความโดยผ่านทาง RS232 จากนั้นก็ทำการเชื่อมต่อกับตัวประมวลผล ซึ่งค่าที่รับมาดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบรหัส ASCII ซึ่งตัวประมวลผลจะมีหน้าที่แปลงรหัส ASCII ให้เป็นรหัสอักษรเบรลล์แล้วจึงส่งคำสั่งให้กับ Shift Register IC เพื่อที่จะทำการควบคุมการทำงานอักษรเบรลล์ในแต่ละจุด ในส่วนของพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะใช้ระบบ DC to DC convertor ซึ่งจะเพิ่มแรงดันทางด้านอินพุทจาก 12V ให้เป็นเอาต์พุตที่ระดับแรงดัน 220V เนื่องจากตัว piezoelectric bimorph นั้นจะใช้ระดับแรงดันในการทำให้เกิดการโก่งตัวที่สูง โครงสร้างการทำงานของมอดูลแสดงดังภาพประกอบที่ 1-6



ภาพประกอบที่ 1-6 โครงสร้างมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ piezoelectric bimorph [8]

จากภาพประกอบที่ 1-6 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของมอดูลแสดงผล piezoelectric bimorph ซึ่งเป็นเปียโซอิเล็กทริกที่มีลักษณะเป็นแผ่นกระดกหรือสามารถโก่งตัวเมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า ลักษณะการโก่งตัวของเปียโซอิเล็กทริกจะเป็นแบบการโก่งตัวแบบรักษาระดับตำแหน่ง จุดประสงค์ก็เพื่อสร้างจุดนูนในการแสดงผลแบบค้างตำแหน่งเพื่อให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นรับสัมผัสนั่นเอง

1.2.6 บทความของ (Xiaosong W. et al., 2007) เรื่อง A Portable Pneumatically-Actuated Refreshable Braille cell [9]ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยระบบการขับเคลื่อนการแสดงผลด้วยนิวเมติกส์ ในการแสดงผลจะอาศัยการควบคุมการทำงานของ Microbubble Actuator โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะประกอบด้วยโพลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นเมื่อได้รับความดันจากระบบ จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวพบว่าระบบการแสดงผลจะให้ระยะการเคลื่อนตัวของจุดแสดงผลที่ระดับ 0.56 มิลลิเมตรและจะเกิดแรงดันในการยกตัวที่ระดับ 66 มิลลินิวตันที่ความดัน 100 กิโลปาสคาล ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงขับเคลื่อนการแสดงผลด้วยระบบนิวเมติกส์ค่อนข้างจะมีค่าที่สูงเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน โครงสร้างมอดูลอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยระบบนิวเมติกส์แสดงดังภาพประกอบที่1-7

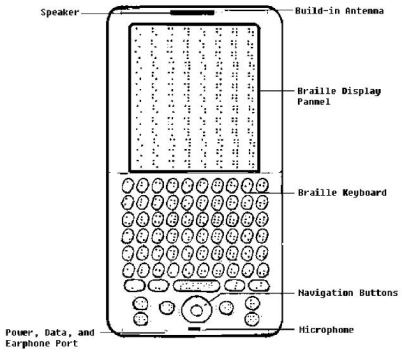


ภาพประกอบที่ 1-7 มอดูลการแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยระบบนิวเมติกส์ [9]

จากภาพประกอบที่ 1-7 แสดงส่วนประกอบและโครงสร้างมอดูลแสดงผลอักษรเบรลล์แบบการขับเคลื่อนด้วยระบบนิวเมติกส์ หากทำการพิจารณาในส่วนของพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนการแสดงผลแล้วนั้นจะพบว่า ระบบนิวเมติกส์เป็นระบบที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนสูง ซึ่งระบบจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สร้างความดัน วาล์วควบคุมการทำงาน โดยส่วนประกอบข้างต้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในการทำงานที่สูง ส่งผลให้ระบบนิวเมติกส์เกิดจุดด้อยในเรื่องดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ

1.2.7 สิทธิบัตรของ Qimao Zhang (2006) เลขที่ US0280294 ชื่อสิ่งประดิษฐ์ Braille Mobile Phone[10]โดยสิทธิบัตรนี้ได้นำเสนอถึงสิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่า Braille Mobile Phone

ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถช่วยเหลือผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นให้มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับบุคคลอื่นได้ โดยจุดเด่นของสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวจะมีการทำงานคล้ายกับโทรศัพท์มือถือในปัจจุบันเพียงแต่นำหลักการของการแสดงผลอักษรเบรลล์มาใช้ในการติดต่อ ซึ่งผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นสามารถที่จะส่งข้อความอักษรเบรลล์ในการติดต่อบุคคลอื่นได้ด้วยการพิมพ์ อีกทั้งสามารถติดต่อกันด้วยการพูดคุยปกติ โดยโครงสร้างแสดงดังภาพประกอบ 1-8



ภาพประกอบที่ 1-8 โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ Braille mobile phone [10]

จากภาพประกอบที่ 1-8 เป็นโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ได้รับการจดสิทธิบัตร ซึ่งเป็นอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์แบบที่ง่ายในการพกพาและการเคลื่อนที่ ในการแสดงผลอักษรเบลล์นั้นผู้ประดิษฐ์ได้ออกแบบโดยอาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงทางกลของ mechanical arms และสามารถที่จะเก็บข้อมูลต่างๆไว้ใน หน่วยความจำของตัวเครื่องได้

จากการทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ทำให้ทราบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่พัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์โดยการใช้ฝ่ามือเป็นจุดรับสัมผัส ซึ่งงานวิจัยข้างต้นที่ทำการทบทวนยังมีจุดด้อยบางประการที่สามารถทำการพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นได้เช่น เรื่องพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนการแสดงผล โดยพบว่าเทคนิคการขับเคลื่อนการแสดงผลแบบ โซลินอยล์ แบบฮีตเตอร์ แบบนิวเมติกส์ ยังเป็นเทคนิคที่จะต้องอาศัยพลังงานในการทำงานที่สูง งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญของพลังงานที่มีต่อระบบ และต้นทุนในการพัฒนาที่มีราคาถูกจึงได้เลือก เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์มาเป็นตัวขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ โดยได้เล็งเห็นถึงข้อดี

ของอุปกรณ์ดังกล่าวในหลายๆด้านได้แก่ การใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่ต่ำ ราคาในท้องตลาดที่ถูก เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมา ออกแบบและพัฒนาเป็นต้นแบบของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงานของเปียโซอิเล็ก-ทริกทรานสดิวเซอร์และการรับสัมผัสของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น

1.3.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยหลักการรับแรงสั่นสะเทือนจากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นในประเทศไทย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 สร้างต้นแบบชุดแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สำหรับคนไทยที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นและไม่พิการซ้ำซ้อน โดยใช้ฝ่ามือเป็นตัวรับสัมผัส

1.4.2 แสดงผลในรูปแบบอักษรเบรลล์ภาษาไทยเท่านั้น

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่มีในปัจจุบันดังวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อทำการศึกษาในส่วนของหลักการขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ของตัวแสดงผลที่มีใช้และมีการวิจัยอยู่ในปัจจุบัน และทำการแยกแยะประเภทวิธีการขับเคลื่อน

- เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในแต่ละวิธีจนได้ช่องว่างของปัญหาและนำพาไปสู่วิธีการวิจัยเพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวต่อไป

- เพื่อทำการศึกษาคุณลักษณะของสัญญาลักษณ์อักษรเบรลล์แต่ละรูปแบบ แต่ละระดับ และเทคนิคการใช้งานในการสื่อสารและนำไปพัฒนาในส่วนของตัวควบคุมการแสดงผล ให้สามารถแสดงผลเป็นไปตามกฎข้อบังคับของการใช้งานอักษรเบรลล์ต่อไป

2. ศึกษากระบวนการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ และระบบรับสัมผัสของฝ่ามือดังวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เช่น แรงดันที่ใช้ในการทำงาน ความถี่สั่นพ้องของวัสดุ ระยะการเคลื่อนตัวของแต่ละความถี่ อัตราการใช้พลังงาน เป็นต้น โดยผลที่ได้จะเป็นค่าตั้งต้นในการออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์

- เพื่อทำการศึกษาในส่วนของระบบรับสัมผัสที่เกี่ยวกับฝ่ามือ โดยทำการศึกษาคุณลักษณะในส่วนของความสามารถของฝ่ามือที่มีผลต่อความถี่ ความสามารถที่มีผลต่อแรงกด ความสามารถในการแยกแยะจุดกระตุ้น เป็นต้น

3. ออกแบบและสร้างต้นแบบตัวแสดงผลอักษรเบรลล์ กระบวนการแสดงผลอักษรเบรลล์ดังวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์สำหรับออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบให้สอดคล้องกับความสามารถในการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์และความสามารถในการรับสัมผัสของฝ่ามือมากที่สุด อีกทั้งกระบวนการแสดงผลที่ได้พัฒนาก็จะเป็นไปตามกฎข้อบังคับของการใช้อักษรเบรลล์ตามการศึกษาที่ผ่านมา

4. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง

- เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบกับผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นในโรงเรียนสอนพิการ โดยจะทำการเก็บผลการทดลองในส่วนของความสามารถในการรับสัมผัสแรงกระตุ้นจากอุปกรณ์

- เพื่อหาช่วงความถี่ที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน อีกทั้งทดสอบกระบวนการแยกแยะข้อมูลหรือความสามารถในการรับข้อมูล เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้พัฒนากับรูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

5. ตรวจสอบและปรับปรุง

- เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอุปกรณ์การแสดงผลอักษรเบรลล์และระบบควบคุมการแสดงผลบางประการเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงมากที่สุด และมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด

6. ทำแบบสอบถามความพึงพอใจ

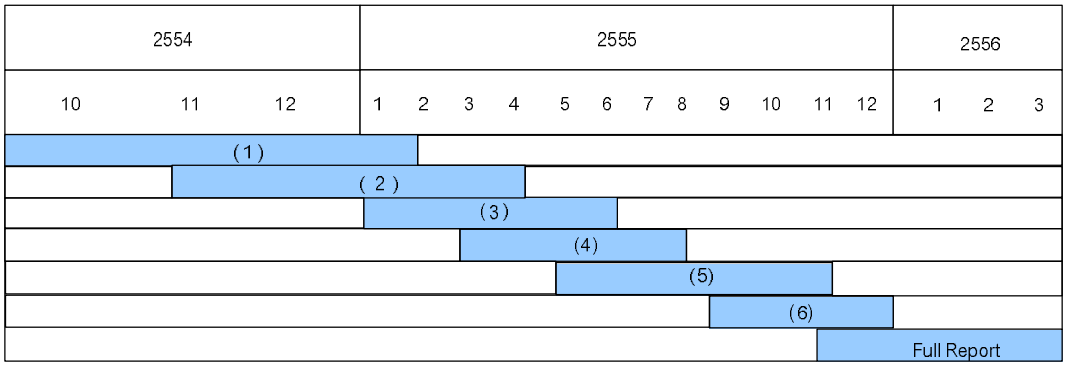
- เพื่อเป็นการศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยที่มีต่อผู้บกพร่องทางการมองเห็น และนำผลลัพธ์ดังกล่าวมาประเมินคุณค่าของงานวิจัยและแก้ไขจุดบกพร่อง

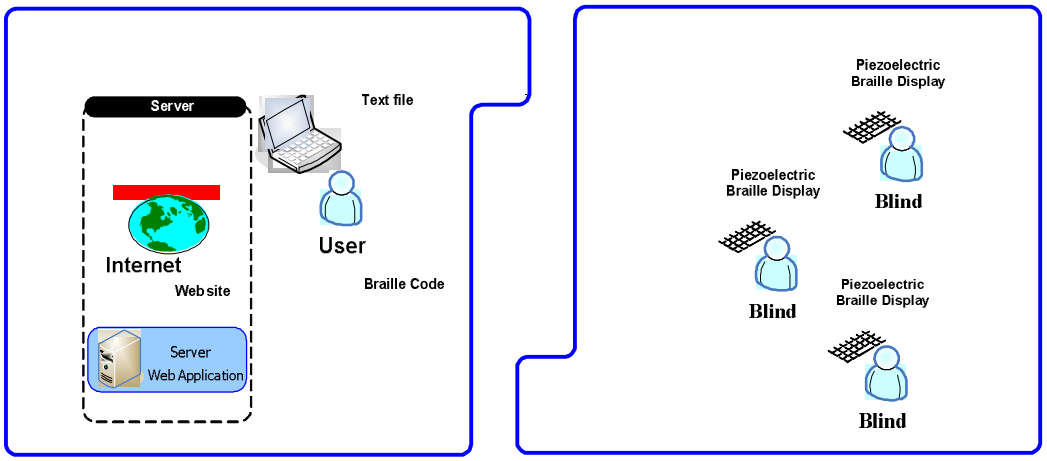
- เพื่อหาแนวทางในการพัฒนางานวิจัยไปสู่อุปกรณ์เชิงพาณิชย์

7. สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

จากระเบียบวิธีวิจัยข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางดำเนินงานดังตารางที่ 1-1 อีกทั้งรูปแบบงานวิจัยโดยรวมแสดงดังภาพประกอบที่ 1-9 ภาพรวมของงานวิจัยจะประกอบด้วยส่วนผู้ใช้งานที่เป็นผู้บกพร่องทางการมองเห็น โดยจะมีหน้าที่ในการรับและตีความหมายของข้อมูลจากอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยฝ่ามือ และส่วนผู้ดูแลจะมีหน้าที่ในการจัดหาข้อมูลเพื่อให้ระบบจัดการกับข้อมูลดังกล่าวให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ของรูปแบบอักษรเบรลล์

ตารางที่ 1-1 ตารางดำเนินงานวิจัย





ภาพประกอบ 1-9 ไดอะแกรมระบบการรับส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์

1.6 คุณค่าของงานวิจัย

1) สามารถนำเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ มาพัฒนาเป็นตัวขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ที่มีราคาถูกได้

2) ลดต้นทุนการนำเข้าอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จากต่างประเทศ เพื่อช่วยเหลือผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตาในประเทศ

3) พลังงานที่ใช้ในการทำงานต่ำกว่าเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นๆ ไม่เกิดความร้อนสะสม และใช้เวลาในการแสดงผลที่เร็ว

4) ใช้ฝ่ามือเป็นตัวรับสัมผัสแรงโดยตรงจากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ โดยอาศัยความสามารถของเส้นประสาทภายใต้ฝ่ามือ

5) ลดความล้าเชิงกลของมือของการอ่านอักษรเบรลล์แบบเดิม โดยเปลี่ยนเทคนิคการแสดงผลเป็นการเคลื่อนตัวของข้อมูลแทน

6) สามารถพัฒนาเป็นอุปกรณ์การเรียนการสอนแบบเชิงพาณิชย์ที่มีต้นทุนต่ำในโรงเรียนสอนผู้พิการ

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในงานวิจัยข้างต้นล้วนแต่เป็นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์การแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยวิธีการขับเคลื่อนด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อเป็นการพัฒนาเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่ ผู้วิจัยได้แบ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังต่อไปนี้ 1) วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ 2) อักษรเบรลล์ 3) ระบบรับความรู้สึก

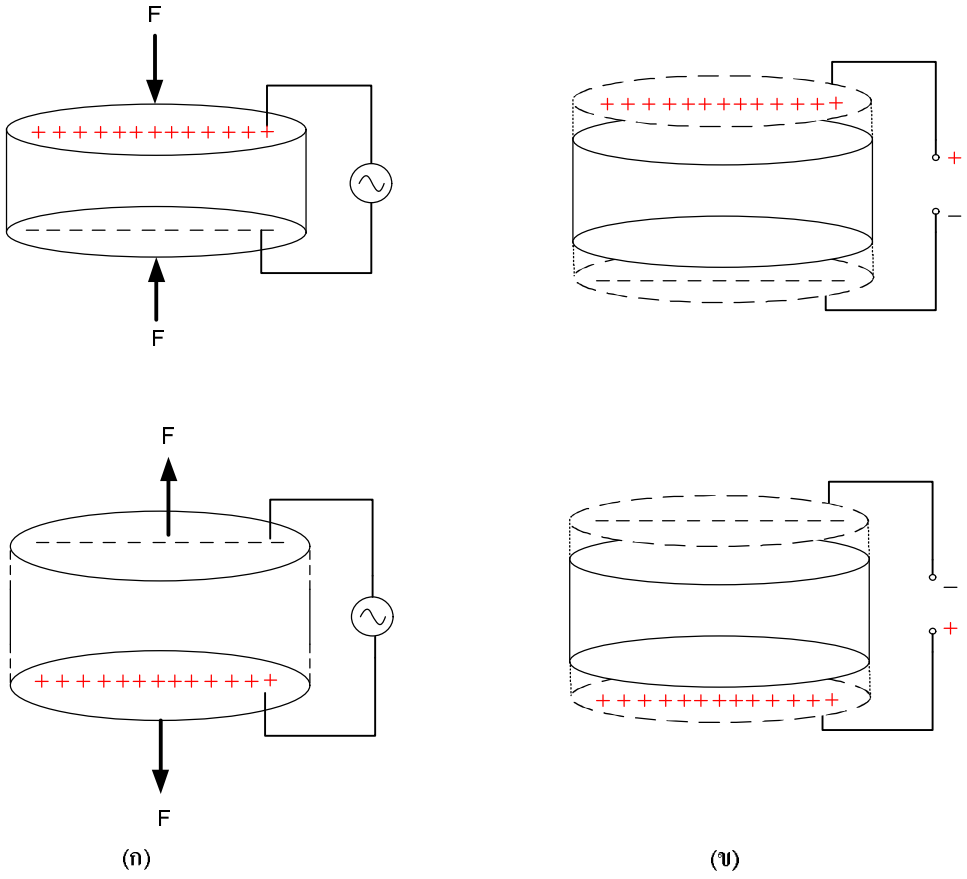
2.1 วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

2.2.1 ความเป็นมาของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์[11]

ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกได้ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1880 โดยผู้ที่ได้ค้นพบดังกล่าวคือพี่น้องปีแอร์และแจ๊ค คูรี ซึ่งบุคคลดังกล่าวได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีแรงกระทำต่อผลึกแร่ควอทซ์ จะส่งผลให้เกิดไฟฟ้าที่พื้นผิวของวัสดุ ปริมาณของไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำต่อผลึก อีกทางหนึ่งคือเมื่อหยุดการให้แรงกระทำต่อผลึกดังกล่าว ปริมาณไฟฟ้าที่เกิดจะมีค่าลดลงเป็นศูนย์ทันที โดยการกระทำดังกล่าวได้ถูกเรียกว่า ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกแบบตรง (Direct piezoelectric effect) ซึ่งคำว่า “Piezo” มาจากภาษากรีกที่มีความหมายว่า “Press” จากนั้นจึงได้มีการนำคำดังกล่าวมาผสมกันกับ “Electric” จึงเกิดเป็นคำใหม่คือ “Piezoelectric” ซึ่งมีความหมายที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกลและทางไฟฟ้า ต่อมาในปี ค.ศ. 1881 ลิปแมนท์ (Lippmann) ได้ทำนายบนพื้นฐานเทอร์โมไดนามิกส์ว่า ยังมีปรากฏการณ์แบบผันกลับในวัสดุ จนได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จากนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่ม เพื่อที่จะพัฒนาและปรับปรุงกฎเกณฑ์และทฤษฎีในการอธิบายปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก โดยการสรุปนั้นสามารถอธิบายได้ว่า สารที่สามารถแสดงสมบัติเปียโซอิเล็กทริกได้นั้นจะต้องมีลักษณะของหน่วยเซลล์ที่ไม่มีศูนย์กลางที่สมมาตร หรือ (Non centrosymmetric)

เมื่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ได้รับแรงกระทำหรือความเค้นจะส่งผลให้เกิดประจุไฟฟ้าแบบประจุบวกและประจุลบเกิดขึ้นตกคร่อมวัสดุดังกล่าว และในทางกลับกันนั้น

เมื่อวัสดุถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า วัสดุจะเกิดการขยายตัวและหดตัวตามสัญญาณไฟฟ้าที่ทำการกระตุ้น ลักษณะปรากฏการณ์ข้างต้นแสดงดังภาพประกอบที่ 2.1 โดยปกตินั้นวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ตามธรรมชาติจะมีทิศทางของโพลาไรเซชัน (polarization) หรือคู่ประจุไฟฟ้าในวัสดุแบบไม่ได้เรียงตัวในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างจากวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก



ภาพประกอบที่ 2.1 (ก)ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกแบบตรง (ข)ปรากฏการณ์เปียโซ-อิเล็กทริกแบบผันกลับ [11]

2.1.2 หลักการและพฤติกรรมของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์[11]

ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางกลของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ กล่าวคือ เมื่อมีความ

เค้นทางกลกระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะก่อให้เกิดการกระจัดทางไฟฟ้าเกิดขึ้น พฤติกรรมนี้เรียกว่าสมบัติ เปียโซอิเล็กทริกแบบตรง (Direct effect) และในทางกลับกันเมื่อมีสนามไฟฟ้ากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ทำให้เกิดความเครียดเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ เปียโซอิเล็กทริกพฤติกรรมนี้เรียกว่า สมบัติเปียโซอิเล็กทริกแบบผันกลับ (Inverse effect) พฤติกรรมของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถอธิบายด้วยสมการ (2.1) และ (2.2) ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางกลของวัสดุเปียโซอิเล็ก-ทริกทรานสดิวเซอร์

$$D = dT + \in^{T} E \tag{2.1}$$

$$S = s^{E}T + dE \tag{2.2}$$

เมื่อ D คือ การกระจัดทางไฟฟ้า (electric displacement) C / m^2

T คือ ความเค้นทางกล (Mechanical Stress) N/m^2

d คือ ค่าคงที่ของเปียโซอิเล็กทริก (piezoelectric constant) C/N

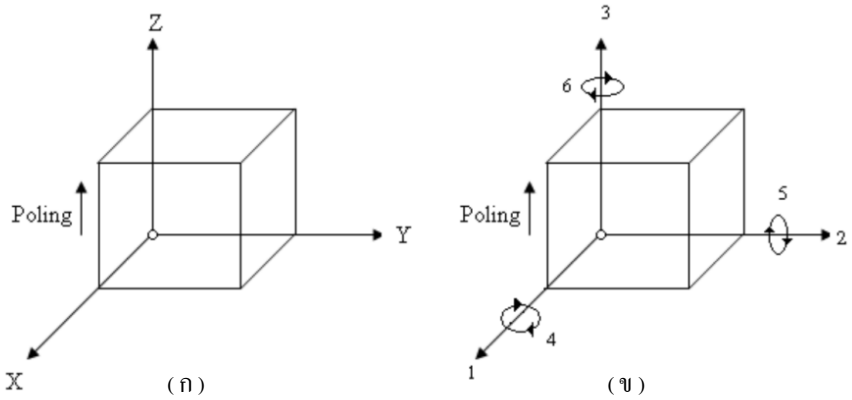
E คือ สนามไฟฟ้า (electric field) N/C

S คือ ความเครียดทางกล (mechanical strain)

S^E คือ ค่าความยืดหยุ่น (electric compliance) ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่มีหน่วย เป็น m/N^2

ε^T คือ สภาพการยอมรับได้ทางไฟฟ้าของตัวกลาง (permittivity) ภายใต้ความเค้น ๆคงที่ มีหน่วยเป็น F/m

สัมประสิทธิ์เปียโซอิเล็กทริกที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความเครียดและการกระจัดทางไฟฟ้าใน 3 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน จึงมีระบุตัวเลขห้อยท้าย 2 ตัว เช่น d_{33} d_{15} เป็นต้น โดยตัวเลขเหล่านี้หมายถึงทิศทางต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 2.2



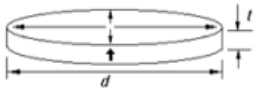
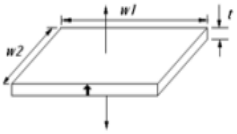
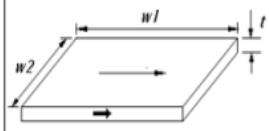
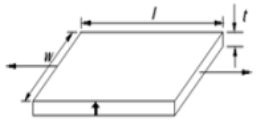
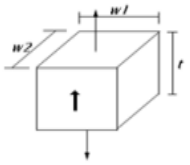
ภาพประกอบ 2.2 (ก) เครื่องหมายแกนวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (ข) แกนเฉือนวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ [11]

ภาพประกอบ 2.2 (ก) แสดงถึงลักษณะแกนหลัก 3 ทิศทาง ภาพประกอบ 2.2 (ข) จะใช้ตัวเลขเป็นตัวกำกับคือใช้เลข 1,2 และ 3 แทนแนวแกน X แนวแกน Y และแนวแกน Z ตามลำดับ ส่วนเลข 4, 5 และ 6 แสดงถึงแกนเฉือนรอบแกน 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งตัวเลขตัวแรกหมายถึงทิศทางโพลาไรเซชันและตัวเลขตัวที่สองจะหมายถึงทิศทางของความเครียด

2.1.3 ความถี่ธรรมชาติและโหมดการสั่นของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์[11]

เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่สามารถแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าและในทางกลับกันก็สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในรูปของการสั่นสะเทือนหรือการเปลี่ยนขนาด สำหรับลักษณะของโหมดการสั่นของวัสดุเปียโซอิ-เล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งได้โดยทั่วไป 5 โหมดด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยที่ลูกศรในแต่ละตัวอย่างหมายถึงทิศทางโพลาไรเซชัน

ตารางที่ 2-1 แสดงรูปทรงและทิศทางการยืดหดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ [11]

Shape	Vibration mode	Electromechanical coupling factor	Frequency (Hz) 1k 10k 100k 1M 10M 100M
	Radial mode:d>20	k_p	
	Thickness mode for plate: w1 and w2 >10t	k_{33}	
	Thickness shear mode for plate : w1 and w2 >10t	k_{13}	
	Length or transverse mode for plate : l >10t, w>3t and l >3w	k_{31}	
	Length extensional: t > w1 and w2	k_{33}	

2.1.4 การวัดคุณสมบัติของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (Characteristics measurement)

- วิธีสถิตเป็นวิธีที่รวดเร็ว คือ การใช้แรงทางกลกระทำต่อผลึกหรือสารที่ต้องการวัด ซึ่งทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่บริเวณผิวของอิเล็กโทรดซึ่งปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแรงทางกลที่กระทำต่อสาร

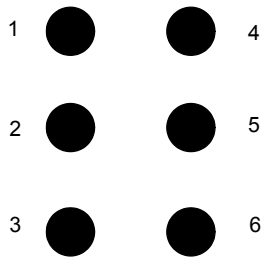
- วิธีการสั่นพ้อง (Resonance method) เป็นการพิจารณาวัสดุหรือสาร เมื่อสารดังกล่าวได้รับสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ ทำให้เนื้อสารภายในเกิดการสั่นสะเทือนและมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลอย่างรวดเร็ว เรียกความถี่ดังกล่าวว่า ความถี่สั่นพ้อง

2.2 อักษรเบรลล์

2.2.1 ประวัติความเป็นมาของอักษรเบรลล์[12]

อักษรเบรลล์ได้ถูกคิดค้นและประดิษฐ์โดย หลุยส์ เบรลล์ ชาวฝรั่งเศส ในปีพ.ศ. 2367 ซึ่ง หลุยส์ เบรลล์เป็นบุคคลที่มีความพิการทางด้านสายตาเนื่องจากอุบัติเหตุ โดยเขามีความรู้สึกว่าผู้ตาบอดหากไม่มีตัวอักษรสำหรับบันทึกข้อความ การศึกษาจะเป็นไปไม่ได้ เขาได้ความคิดมาจากกัปตันชาลส์ บาบีแอร์ นายทหารแห่งกองทัพบกฝรั่งเศส ซึ่งได้นำวิธีการส่งข่าวสารทางทหารในเวลากลางคืนมาให้คนตาบอดลองใช้ดู ระบบนี้ใช้รหัสจุด ขีดนูนบนกระดาษแข็งซึ่งเรียกว่า โซ-โนกราฟฟี่ (Sonography) แม้ระบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากแต่เบรลล์ยังเห็นคุณค่าของวิธีการนี้ จึงได้นำมาดัดแปลงให้เหมาะแก่การสัมผัสด้วยปลายนิ้วโดยให้ มีจุดหกจุดเรียงกันเป็นสองแถวทางแนวตั้งแถวซ้ายเรียงจากบนมาล่าง เรียกจุด 1 2 3 และแถวขวาจากบนมาล่าง เรียกจุด 4 5 6 แล้วนำจุดต่างๆนี้มาจัดกลุ่มกันเป็นรหัส ซึ่งในวิชาพีชคณิตเราเรียนการจัดกลุ่มนี้ว่า การจัดหมู่ (Combination) จากการใช้สูตรคณิตศาสตร์ หรือจากการนำเลขหกตัวนี้ มาจัดกลุ่มจริง ๆ ซึ่งจะได้ถึง 63 กลุ่ม ซึ่งสามารถนำไปใช้แทนอักษร สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ดนตรี และเครื่องหมายต่าง ๆ ได้

เบรลล์ได้กำหนดให้รหัสของตัวอักษร โดยให้อักษร10 ตัวแรก คือ เอ-เจ (a-j) ใช้กลุ่มของจุดนูนซึ่งประกอบด้วย 1 2 3 4 สลับกันไป ซึ่งเป็นกลุ่มของจุดพื้นฐานรหัสของอักษร อักษร10 ตัวต่อมาคือ เค-ที (k-t) ได้มาโดยเติมจุด 3 เข้าในรหัสของอักษร 10 ตัวแรก ส่วนที่เหลืออีก 5 ตัวท้ายเติมจุด 6 เข้ากับรหัสอักษร 2 ตัวแรก เบรลล์ได้ประกาศวิธีการของเขาในปี พ.ศ. 2367 ต่อมาเขาได้คิดรหัสเพิ่มขึ้นสำหรับสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ โน้ตดนตรี และเครื่องหมายวรรคตอน ลักษณะอักษรเบรลล์ที่มีการพัฒนาแสดงดังภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 ลักษณะอักษรเบรลล์[12]

2.2.2 วิวัฒนาการอักษรเบรลล์ภาษาไทย[12]

วิวัฒนาการอักษรเบรลล์ภาษาไทยเกิดจาก มิส เจเนวีฟ คอลฟิลด์ สุภาพสตรีตาบอดชาวอเมริกัน ซึ่งกำลังสอนหนังสืออยู่ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ปรึกษากับนายแพทย์ ฝน แสงสิงห์แก้ว ขณะศึกษาอยู่ในประเทศญี่ปุ่นถึงลู่ทางการสอนคนตาบอดขึ้นในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2482 และต่อมาได้ก่อตั้งโรงเรียนร่วมกับคณะกรรมการฝ่ายไทย กำหนดรหัสอักษรเบรลล์ภาษาไทยขึ้น โดยส่วนใหญ่จะใช้หลักการเทียบเคียงกับเสียงในภาษาอังกฤษที่มีเสียงตรงกับภาษาไทย ตัวอย่างดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2-2 การเทียบเสียงของพยัญชนะเพื่อออกแบบอักษรเบรลล์ภาษาไทย [13]

พยัญชนะภาษาไทย	พยัญชนะภาษาอังกฤษ
ก	G
ข	K
จ	J
ด	D
ถ	T
น	N
ผ	P
ม	M
อ	O

ระหว่างการเริ่มตั้งโรงเรียนสอนคนตาบอด มิสเจเนวีฟ คอลฟิลด์ พยายามสืบเสาะหาคนตาบอดเพื่อขออนุญาตผู้ปกครองรับตัวมาเป็นศิษย์ แต่เนื่องจากความเชื่อของคนไทยในช่วงเวลานั้นหากครอบครัวไหนมีบุตรหลานเป็นคนตาบอด จะถูกปิดเงียบไม่ให้เป็นที่ล่วงรู้ ของเพื่อนบ้าน เพราะถือว่าเป็นความอับอาย ดังนั้นการหานักเรียนของ มิสเจเนวีฟ คอลฟิลด์ ถือได้ว่าเป็นสิ่งมีค่าเลยทีเดียว

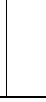
2.2.3 การอ่านและการเขียนอักษรเบรลล์ในปัจจุบัน[12]

วิธีการอ่านอักษรเบรลล์ที่ใช้กันในปัจจุบันนั้น เหมือนกับการอ่านหนังสือทั่วไป คือ จะทำการอ่านจากซ้ายมือไปยังด้านขวามือของประโยค โดยที่ผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นจะใช้นิ้วชี้ของมือด้านซ้ายเป็นตัวกำกับบรรทัดที่จะอ่าน และจะใช้นิ้วชี้ของข้างมือด้านขวาเริ่มต้นอ่านจากนิ้วชี้ทางซ้ายที่กำกับบรรทัด เลื่อนไปทางขวามือจากนั้นจะเลื่อนนิ้วชี้ข้างซ้ายลงมากำกับบรรทัดต่อไป โดยกำกับบนตัวอักษรตัวแรกของคำในส่วนของการเขียนอักษรเบรลล์จะเขียนจากด้านขวามือไปยังด้านซ้ายมือ โดยจะใช้นิ้วชี้ของมือซ้ายสัมผัสช่องของแผ่นสเลทจากด้านขวาเพื่อกำกับช่องที่จะเขียนกับสไตลัสด้วยมือ

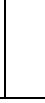
2.2.4 อักษรเบรลล์ภาษาไทย[12]

อักษรเบรลล์ภาษาไทยพัฒนาต่อมาจากอักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษ ซึ่งจะมีลักษณะจุดทั้งหมด 6 จุดใน 1 เซลล์เช่นเดียวกันกับอักษรเบรลล์ภาษาอังกฤษ แต่พยัญชนะไทยมี 44 ตัว สระมี 32 ดังนั้นจึงไม่เพียงพอสำหรับการเขียนอักษรเบรลล์ 1 เซลล์ แทน 1 อักษรได้ ซึ่งนั่นเองทำให้อักษรเบรลล์ภาษาไทยได้มีการนำอักษรไทยบางกลุ่มที่มีฐานการออกเสียงเหมือนกันมารวมไว้ใน 2 เซลล์ของอักษรเบรลล์ แทนพยัญชนะปกติ 1 ตัว สำหรับสระ วรรณยุกต์และอักษรอื่นๆ ในภาษาไทยนั้นมีทั้งสระเดี่ยวและสระประสมซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นสระเดี่ยวจะแทนด้วยอักษรเบรลล์เซลล์เดียวแต่ก็มีที่แทนด้วย 2 เซลล์บางตัวเช่น สระ ใ เป็นต้น สำหรับสระประสมนั้นมีทั้งที่ประกอบเซลล์เดียวเช่นกัน โดยสามารถสรุปรูปแบบอักษรเบรลล์ชนิดภาษาไทยได้ดังนี้

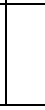
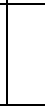
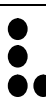
ตารางที่ 2-3 พยัญชนะที่มี 1 เซลล์ ก – ซ

ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	ช	ซ
							

ตารางที่ 2-4 พยัญชนะที่มี 1 เซลล์ ด – ฟ

ด	ต	ถ	ท	น	บ	ป	ผ	ฝ	พ	ฟ
										

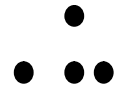
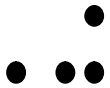
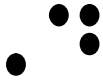
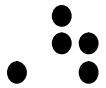
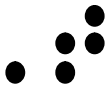
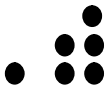
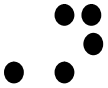
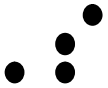
ตารางที่ 2-5 พยัญชนะที่มี 1 เซลล์ ส – ฮ

ม	ย	ร	ล	ส	ห	ว	อ	ฮ
								

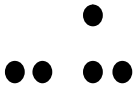
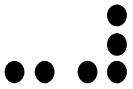
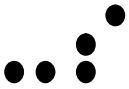
ตารางที่ 2-6 สระเดี่ยวที่เขียนตามหลังพยัญชนะ

อะ	อา	อิ	อี	อึ	อือ	อุ	อู

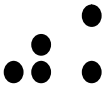
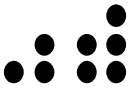
ตารางที่ 2-7 พยัญชนะที่มีสองเซลล์และใช้จุด 6(⠠) นำหน้า

ฆ	ฌ	ญ	ฎ	ฏ	ฐ
					
ฑ	ฒ	ภ	ศ	ฬ	
					

ตารางที่ 2-8 พยัญชนะที่มีสองเซลล์และใช้จุด 3,6 (⠤) นำหน้า

ค	ฒ	ษ
		

ตารางที่ 2-9 พยัญชนะที่มีสองเซลล์และใช้จุด 3,5,6 (⠴) นำหน้า

ฃ	ธ
	

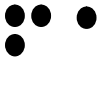
ตารางที่ 2-10 สระเดี่ยวที่เขียนข้างหน้าพยัญชนะต้น

เอ	แอ	โอ	ไอ	ใอ

ตารางที่ 2-11 สระประสมหนึ่งเซลล์ที่เขียนหน้าพยัญชนะต้น

ออ	เออ	เอีย	เอือ	อัว	อำ	เอา

ตารางที่ 2-12 สระประสมสองเซลล์ที่เขียนหลังพยัญชนะต้น

เอะ	แอะ	โอะ	เอาะ	เออะ	อัวะ
					
เอียะ	เอือะ				

ตารางที่ 2-13 เครื่องหมายวรรคตอนและวรรณยุกต์

เอก	โท	ตรี	จัตวา

2.2.5 สรุปหลักการเขียนอักษรเบรลล์ภาษาไทย [12]

1.อักษรเบรลล์มีการประสมคำเหมือนกับการประสมคำตามหลักวิชาภาษาไทยทั่วไป

2.การเขียนสระที่อยู่ข้างหน้าพยัญชนะ ได้แก่ สระ เอ แอ โอ ไอ ใอ ให้เขียนไว้ข้างหน้าพยัญชนะตามปกติ

3. การเขียนสระที่อยู่ข้างหลังพยัญชนะ ได้แก่ สระ อะ อา ออ อัวะ อัว อำ ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะตามปกติ

4. การเขียนสระที่อยู่ข้างบน และข้างล่างพยัญชนะ ได้แก่ สระ อิ อี อึ ออื อุ อู ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะที่สระตัวนั้นกำกับอยู่

5. การเขียนสระประสม ได้แก่ สระ เอะ แอะ โอะ เออะ เอียะ เอีย เออะ เออื เอา สระประสมเหล่านี้ในการเขียนอักษรเบรลล์จะมีรหัสอักษรเบรลล์เฉพาะแทนสระทั้งกลุ่ม เวลาเขียนให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะที่สระตัวนั้นกำกับอยู่

6. การเขียนสระเกิน ได้แก่ ฤ ฤา ฦ ฦา ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะตามปกติ

7. การเขียนสระลดรูป และสระเปลี่ยนรูป

- สระ อะ ที่เปลี่ยนรูปเป็น ไม้หันอากาศ ให้เขียนไว้ข้างหลังพยัญชนะต้นก่อนวรรณยุกต์ และตัวสะกด

- สระ โอะ เมื่อลดรูปแล้วจะไม่มีรูปสระปรากฏอยู่ ให้เขียนเรียงตาม พ ยั ญ ช น ะ ตามหลักภาษาไทยทั่วไป

- สระ เออ ที่เปลี่ยนรูปเป็น เ ิ ให้เขียนอยู่ในรูปสระ เออ ตามรหัสอักษรเบรลล์คือให้เขียนตามหลังพยัญชนะที่สระกำกับอยู่

- สระ เออ ที่สะกดด้วย ย ญ ม เช่น เคย เฉย เลย เทอญ เทอม ให้เขียนเรียงตามรูปทีปรากฏเหมือนกับการเขียนอักษรปกติ

8. การเขียนวรรณยุกต์

- การเขียนวรรณยุกต์ กับ สระ อา ออ และอัว ที่ลดรูปไม้หันอากาศให้เขียนวรรณยุกต์ก่อนสระเสมอ

- สระอื่น ๆ รวมทั้งสระอะ ที่เปลี่ยนรูปเป็นไม้หันอากาศ ให้เขียนวรรณยุกต์ตามหลังสระก่อนตัวสะกดที่ตามมา

- การเขียนคำที่ประสมด้วยสระ อือ ถ้าคำนั้นไม่มีตัวสะกดให้เขียน อ ตามหลังมาด้วย แต่ถ้าคำนั้นมีตัวสะกด ให้เขียนเรียงตามรูปที่ปรากฏเหมือนกับการเขียนอักษรปกติ

2.3 ระบบการรับสัมผัส (Receptors System)[13]

ระบบรับความรู้สึกเป็นระบบที่ร่างกายสร้างขึ้นมา เพื่อทำหน้าในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นร่างกายโดยการทำงานร่วมกันกับระบบประสาท เรียกว่าอวัยวะรับความรู้สึกหรืออวัยวะรับสัมผัส (sensory organ) อวัยวะรับความรู้สึกมีลักษณะพื้นฐานที่สำคัญคือจะประกอบด้วยเซลล์รับความรู้สึกหรือตัวรับความรู้สึก (sensory cell) โดยเป็นส่วนของปลายประสาทรับความรู้สึกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปในแต่ละแบบและหน้าที่ที่มีการรับความรู้สึกต่างๆ อีกทั้งยังสามารถส่งกระแสประสาทไปยังสมองได้ ส่วนของอวัยวะรับความรู้สึกหรือรับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าต่างๆ ทั้งสิ่งเร้าภายในและภายนอกร่างกายเรียกว่าตัวรับความรู้สึก (receptor) โดยทั่วไปตัวรับความรู้สึกเป็นส่วนปลายของเส้นประสาทรับความรู้สึกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไป เพื่อทำหน้าที่พิเศษหลังจากที่ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าและสั่งการให้สมองแปลความจากนั้นจะทำการส่งกระแสประสาทสั่งการกลับมาที่อวัยวะดังกล่าว เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า อวัยวะรับความรู้สึกในร่างกายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

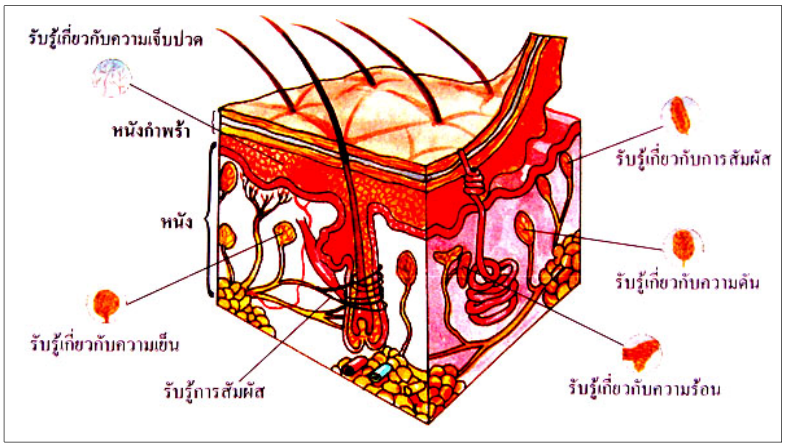
1. อวัยวะรับความรู้สึกทั่วๆไป (general sensory organ) ได้แก่ ผิวหนัง กล้ามเนื้อ ข้อต่อต่างๆในร่างกายและอวัยวะภายใน เป็นต้น

2. อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ (special sensory organ) ได้ แก่ ตา ลิ้น จมูก และหู เป็นต้น

ตัวรับความรู้สึกที่เป็นส่วนของร่างกายที่ใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างร่างกายกับภายนอกสามารถแบ่งออกตามตำแหน่งในร่างกาย และแบ่งออกตามสิ่งที่มากระตุ้น ดังนี้

1. การแบ่งประเภทตัวรับความรู้สึกตามตำแหน่งในร่างกาย อาจแบ่งตัวรับความรู้สึกเป็นความรู้สึกจากการสัมผัส ความเจ็บปวด ความร้อน ความเย็น หรือตัวรับความรู้สึกจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น

2. การแบ่งประเภทของตัวรับความรู้สึกตามสิ่งที่มากระตุ้นได้แก่ ตัวรับความรู้สึกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mechanoceptor) ตัวรับความรู้สึกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemoreceptor) ตัวรับความรู้สึกเกี่ยวกับแสง (photoreceptor) เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 2-4 ตัวอย่างตัวรับความรู้สึก[13]

จากภาพประกอบที่ 2-4 จะสังเกตุได้ว่าในผิวหนังมีหน่วยรับความรู้สึกซึ่งไวต่อการกระตุ้นเฉพาะอย่าง เช่น หน่วยรับความดันหรือแรงกด มีลักษณะคล้ายหัวหอมผ่าซีก มีปลายประสาทเดนไดรต์อยู่ตรงกลางและมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้มปลายประสาทอยู่รอบๆ หน่วยรับความรู้สึกชนิดนี้จะฝังลึกอยู่ในผิวหนังบริเวณของหนัง (dermis) โดยหน่วยรับความรู้สึกเจ็บปวดจะเป็นปลายประสาทเดนไดรต์ที่แทรกอยู่ในชั้นหนังกำพร้า (epidermis) หน่วยรับสัมผัสบางหน่วยอาจอยู่อิสระ

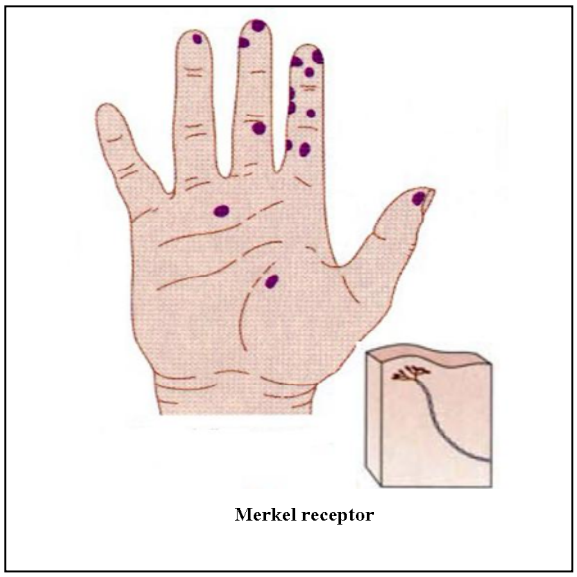
บางหน่วยพันอยู่รอบเส้นขน ดังนั้นเมื่อมีการกระตุ้นเส้นขนเบาๆหรือการลูบบนผิวหนังที่มีเส้นขนก็จะรับรู้การสัมผัสได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีหน่วยรับความรู้สึกเกี่ยวกับอุณหภูมิ ซึ่งประกอบด้วยปลายประสาทที่รับความรู้สึกร้อนและเย็น

2.3.1 ระบบรับสัมผัสบนฝ่ามือ[13]

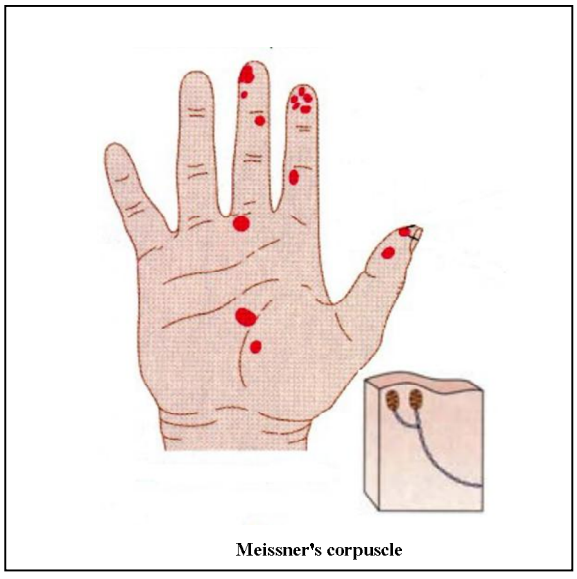
ฝ่ามือของมนุษย์นั้นเป็นบริเวณที่ถูกปกปิดด้วยผิวหนังและกล้ามเนื้อเช่นกัน ดังนั้นจึงมีหน่วยรับความรู้สึกบางประเภทที่ติดตั้งอยู่ภายใต้ชั้นกล้ามเนื้อในบางส่วนของฝ่ามือ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ค้นพบว่าบริเวณฝ่ามือนั้นจะมีความสามารถในการรับสัมผัส จากการกระตุ้นด้วยสิ่งกระตุ้นรอบข้าง โดยความสามารถของฝ่ามือในการรับสัมผัสจะประกอบไปด้วยตัวรับสัมผัสดังนี้

- ตัวรับความรู้สึกชนิด Merkel เป็นตัวรับความรู้สึกที่อยู่ภายใต้ชั้นตื้นของผิวหนัง มีความสามารถในการรับสัมผัสเมื่อมีการกระตุ้นอย่างช้าๆ ประกอบด้วยปลายประสาทที่บานออกเป็นจาน (disc-shape) อยู่สัมพันธ์กับ Merkel cell ของผิวหนังและของเยื่อบุผิว โดยตัวรับความรู้สึกชนิด Merkel จะมีขนาดเล็กแต่ครอบคลุมเป็นพื้นที่กว้างบนฝ่ามือ รูปร่างของตัวรับความรู้สึกชนิด Merkel แสดงดังภาพประกอบที่ 2-5

- ตัวรับความรู้สึกชนิด Meissner's เป็นตัวรับความรู้สึกที่อยู่ภายใต้ชั้นตื้นของผิวหนังมีความสัมพันธ์กับตัวรับความรู้สึกชนิด Pacinian ซึ่งตัวรับความรู้สึกชนิด Meissner's จะมีลักษณะเป็นรูปไข่และพบได้ในส่วนของฝ่ามือ ฝ่าเท้า ปลายนิ้ว ริมฝีปาก จะมีความสามารถในการเป็น mechanoreceptor รับรู้ vibration ชนิด low frequency และรับรู้สัมผัสชนิดละเอียด (two-point discrimination) ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึกข้างต้นแสดงดังภาพประกอบ 2-6



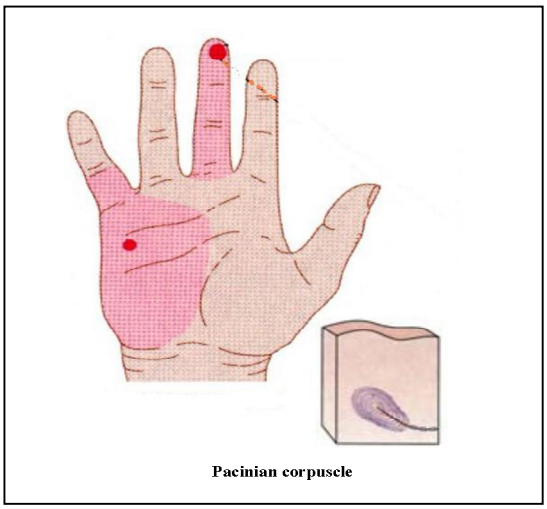
ภาพประกอบ 2-5 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Merkel receptor [13]



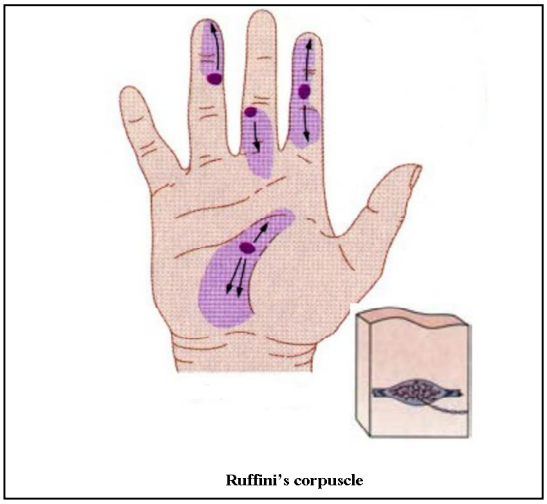
ภาพประกอบ 2-6 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Meissner's corpuscle [13]

- ตัวรับความรู้สึกชนิด Pacinian (หรือ lamellated corpuscle) มีขนาดใหญ่ รูปวงรี พบได้ในส่วนของฝ่ามือ ฝ่าเท้าและปลาย จะมีความสามารถในการเป็น mechanoreceptor รับรู้ vibration ชนิด high frequency ลักษณะของ Pacinian ประกอบด้วยปลายประสาทที่มี connective

tissue หุ้มรอบเป็นชั้น ๆ คล้ายหัวหอม ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึกข้างต้นแสดงดังภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-7 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Pacinian corpuscle [13]



ภาพประกอบ 2-8 ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึก Ruffini ending [13]

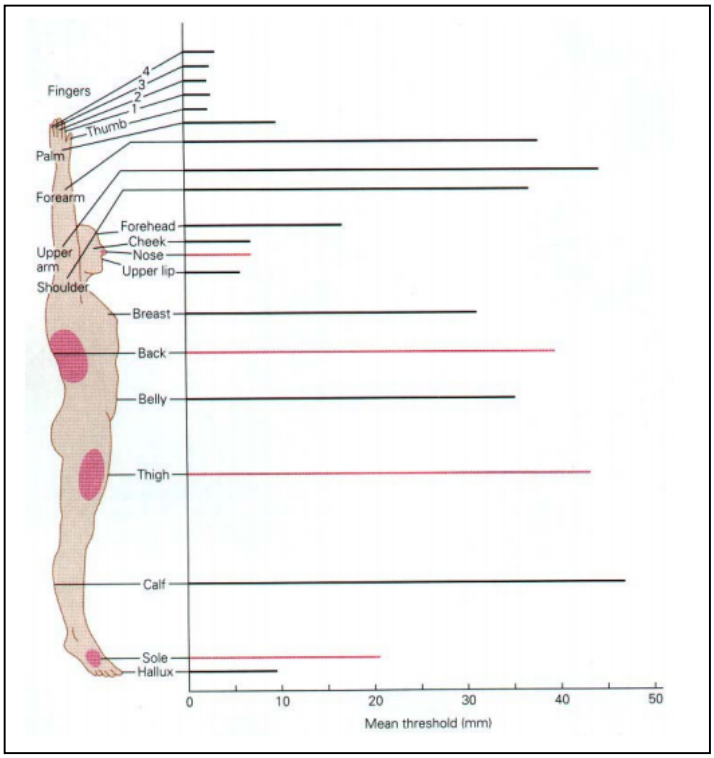
- ตัวรับความรู้สึกชนิด Ruffini ending รูปร่างเป็นรูปกระสวย มีconnective tissue บาง ๆ หุ้มรอบเป็นcapsule ภายในcorpuscle ประกอบด้วยปลายประสาทแตกแขนงแทรกระหว่าง

collagen fiber ที่จัดตัวตามแนวยาวของ capsule ทำหน้าที่เป็นmechanoreceptor ตำแหน่งและรูปร่างของตัวรับความรู้สึกข้างต้นแสดงดังภาพประกอบ 2-8

จากคุณสมบัติของตัวรับความรู้สึกของฝ่ามือที่ผ่านมาดังกล่าวทำให้พบว่า ฝ่ามือของมนุษย์นั้นมีความสามารถในการรับสัมผัสจากสิ่งเร้าจากภายนอกได้ ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยจึงได้ใช้ความสามารถดังกล่าวมาเป็นบริเวณรับสัมผัสในการรับรู้ข้อมูลอักษรเบรลล์สำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น โดยบริเวณที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการรับสัมผัสจากสิ่งกระตุ้นนั้นจะเป็นบริเวณที่ถูกปกคลุมไปด้วยตัวรับความรู้สึกที่เรียกว่า Pacinian ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสามารถในการรับการกระตุ้นด้วยแรงกด และมีพื้นที่ในการรับสัมผัสที่มากกว่าบริเวณตัวรับสัมผัสชนิดอื่น

2.3.2 การแยกแยะจุดกระตุ้นบนผิวหนัง[13]

เนื่องจากอักษรเบรลล์ในหนึ่งเซลล์นั้นจะประกอบไปด้วยจุดกระตุ้นจำนวน 6 จุดกระตุ้นด้วยกัน ส่งผลให้เมื่อมีการกระตุ้นต่อฝ่ามือพร้อมๆกันอาจทำให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นไม่สามารถที่จะแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการอ่านได้ ซึ่งตำแหน่งของการวางจุดกระตุ้นนั้นจะเป็นส่วนสำคัญในการแยกแยะข้อมูล ดังนั้นในการออกแบบตัวแสดงผลอักษรเบรลล์จึงต้องคำนึงถึงระยะดังกล่าว ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการรับสัมผัสอย่างละเอียดจะเป็นการรับสัมผัสประเภทหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นมีความสามารถแยกจุดสัมผัสทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับประสาทที่รับการกระตุ้นนั้นๆ โดยถ้าทำกระตุ้น สองจุดพร้อมๆ กันก็อาจรู้สึกเหมือนมีการกระตุ้นเพียงจุดเดียว หากระยะห่างของจุดสองจุดมีค่าน้อยเกินไป ซึ่งขีดความสามารถที่จะแยกแยะการกระตุ้นสองจุดออกได้นั้นเรียกว่า Threshold for Two–points หรือTwo point discrimination sense รายละเอียดของขีดความสามารถในการแยกแยะจุดสัมผัสบนร่างกายแสดงดังภาพประกอบ 2-9



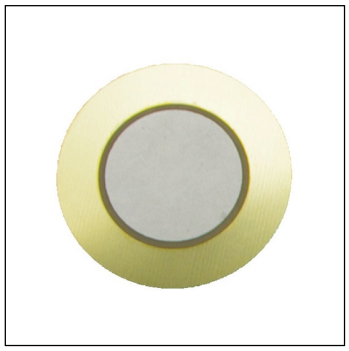
ภาพประกอบ 2-9 ขีดความสามารถบนร่างกายในการแยกแยะจุดสองจุด [13]

จากภาพประกอบ 2-9 จะเป็นค่า Threshold หรือค่าขั้นต่ำของระยะห่างระหว่างจุดสองจุดในการแยกแยะจุดสองจุบนส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ปลายลิ้น ความสามารถที่จะบอกว่าลิ้นถูกกระตุ้นพร้อมๆ กันสองจุด มีระยะห่างที่มากที่สุดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ที่ปลายนิ้วมือมีระยะห่างเท่ากับ 2–4 มิลลิเมตร ริมฝีปากมีค่าเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร ในส่วนของฝ่ามือนั้นจะมีค่าประมาณ 11.3 มิลลิเมตร ฝ่าเท้ามีค่าเท่ากับ16 มิลลิเมตร และหลังมือ 20–30 มิลลิเมตรเป็นต้น ซึ่งค่าที่ใช้ในการออกแบบระยะห่างระหว่างจุดกระตุ้นของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ก็จะมีค่าเท่ากับค่า Threshold ของฝ่ามือ

2.4 หลักการของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์สำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นในโรงเรียนสอนคนตาบอด สิ่งสำคัญที่สุดในงานวิจัยนี้คือระบบการขับเคลื่อนการแสดงผลข้อมูลแบบอักษรเบรลล์ ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกเปียโซอิเล็กทริก-

ทรานสดิวเซอร์มาเป็นตัวขับเคลื่อน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีขายตามท้องตลาด ราคาถูก ตัวอย่างของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ผู้วิจัยเลือกใช้แสดงดังภาพประกอบที่ 2-10



ภาพประกอบที่ 2-10 ลักษณะเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการการขับเคลื่อนการแสดงผลด้วยปรากฏการณ์ผันกลับเปียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric effect) คือ เมื่อเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะเกิดความเครียดทางกลในเนื้อวัสดุส่งผลให้วัสดุดังกล่าวเกิดการโก่งหรืองอตัวตามสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ จากจุดเด่นดังกล่าวเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จึงมีความสามารถในการสร้างแรงเพื่อทำการกระตุ้นผู้รับสัมผัสในรูปแบบอักษรเบรลล์ ให้สามารถรับรู้ข้อมูลได้นั่นเอง

บทที่3
วัสดุ อุปกรณ์การทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการในการทำวิทยานิพนธ์ โดยเริ่มจากการทดลองคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ รวมทั้งผลตอบสนองความถี่ที่มีผลต่อการรับสัมผัสของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น และการทดลองเพื่อการศึกษาความสามารถการทำงานของเปียโซอิ-เล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

การทดลองจะเป็นการนำเอาคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่เรียกว่าการผันกลับเปียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric) มาใช้ในการทดลอง โดยจะทำการศึกษาคุณลักษณะที่เกี่ยวกับความถี่สั่นพ้องของวัสดุ ค่าความต้านทานของวัสดุ แรงดันที่ใช้ในการทำงาน เทคนิคการเลือกใช้ตัวเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ในที่นี้ผู้วิจัยจะเลือกใช้เปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 18 มิลลิเมตรตลอดการวิจัย

3.1.1 การทดลองหาความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ด้วยอิมพิแดนซ์และมุมเฟสเซอร์

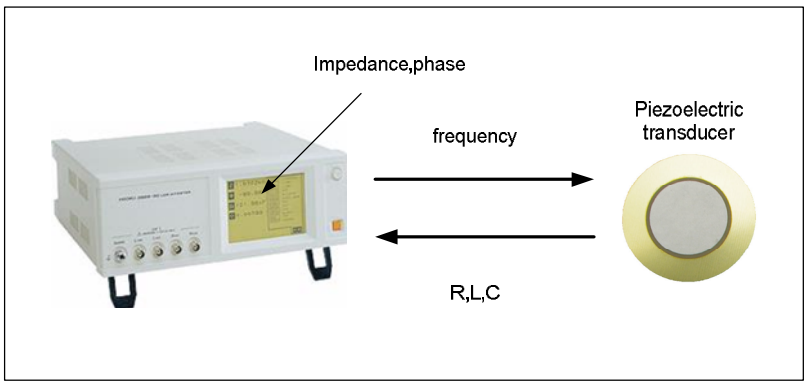
ทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาว่าเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์นั้นมีความถี่สั่นพ้องในการทำงานในช่วงความถี่ใด เนื่องจากความที่สั่นพ้องเป็นความถี่ที่วัสดุหรือระบบต่างๆ ทำงานได้ดีที่สุด ทั้งนี้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการความสามารถสูงสุดจากอุปกรณ์ดังกล่าว โดยในช่วงแรกจะทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าอิมพิแดนซ์กับมุมเฟสเซอร์ของเปียโซอิเล็ก- ทริกทรานสดิวเซอร์ที่ความถี่ต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเกิดความถี่สั่นพ้องจากค่าดังกล่าว

สมมติฐาน

1. เมื่อเกิดความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ค่าอิมพิแดนซ์ย่อมมีค่าต่ำ
2. มุมเฟสเซอร์จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเกิดค่าความถี่สั่นพ้องของระบบ

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมชุดการทดลอง ดังภาพประกอบ 3-1 ซึ่งประกอบไปด้วยเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ขนาด 18 มิลลิเมตร และเครื่องวิเคราะห์ HIOKI 3531 Z HiTESTER สำหรับแสดงค่าอิมพิแดนซ์และมุมเฟสเซอร์
2. เปิดเครื่อง HIOKI 3531 Z HiTESTER โดยป้อนความถี่ให้กับเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์จากความถี่ต่ำไปยังความถี่สูง
3. บันทึกผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ในแต่ละความถี่ (อิมพิแดนซ์ , เฟสเซอร์)
4. ทำการเปลี่ยนแปลงระดับความถี่โดยเริ่มจากระดับความถี่สูงไปยังความถี่ต่ำ
5. บันทึกการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้
6. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2 – 5 จำนวน 3 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง
7. นำข้อมูลทั้งหมดมาพลอตกราฟ



ภาพประกอบ 3-1 การทดลองวัดค่าอิมพิแดนซ์และเฟสเซอร์

3.1.2 การทดลองการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละระดับของแรงดันไฟฟ้า

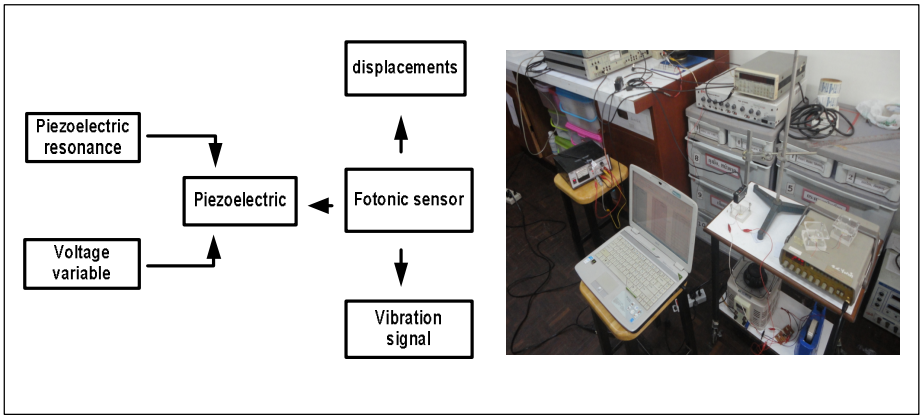
ทำการทดลองเพื่อศึกษาระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เมื่อเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละระดับ โดยทำการสังเกตุและหาระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ก่อนเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะเกิดการพังทลาย ซึ่งค่าระดับแรงดันสุดท้ายก่อนเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะเกิดการพังทลายจะเป็นค่าสูงสุดที่ใช้สำหรับกระตุ้นให้วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ทำงาน

สมมติฐาน

1. ระยะการเคลื่อนตัวจะแปรผันโดยตรงกับระดับแรงดันไฟฟ้า
2. เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แต่ละตัวจะให้ระยะการเคลื่อนตัวที่ใกล้เคียงกันในระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมชุดการทดลอง ดังภาพประกอบ 3-2 ซึ่งประกอบไปด้วยเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ขนาด 18 มิลลิเมตร เครื่องวัดระยะการเคลื่อนตัวแบบโฟโตนิกส์ (Fotonic sensor) หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดปรับค่าได้ และเครื่องกำเนิดสัญญาณ
2. ทำการตั้งค่าความถี่ของสัญญาณให้มีค่าเท่ากับความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ดังผลการทดลองที่ผ่านมา
3. ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุด โดยกำหนดให้มีการเพิ่มระดับแรงดันแต่ละสแต็ปมีค่าเท่ากับ 10 โวลต์
4. สังเกตุและบันทึกค่าระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละระดับแรงดัน
5. เมื่อมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจนทำให้ระยะการเคลื่อนตัวมีค่าเท่ากับศูนย์ให้หยุดการจ่ายพลังงานให้กับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์
6. เปลี่ยนเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ทำการทดลองจากข้อ 3-5 เป็นจำนวนห้าครั้ง
7. นำค่าจากการทดลองมาพล็อตกราฟ



ภาพประกอบ 3-2 การทดสอบการทำงานในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้า

3.1.3 การทดสอบการเคลื่อนตัวในกรณีที่มีการวางซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

ทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาหาระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ระดับสูงสุด โดยนำเสนอเทคนิคการซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวแกนเป็นจำนวนเท่าของจำนวนชั้นที่ซ้อนทับกัน ทั้งนี้ก็เพื่อทำให้เกิดระยะกระตุ้นที่ดีที่สุดสำหรับการกระตุ้นฝ่ามือของผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น ในการทดลองจะเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL Multiphysics เพื่อดูพฤติกรรมการเคลื่อนตัว

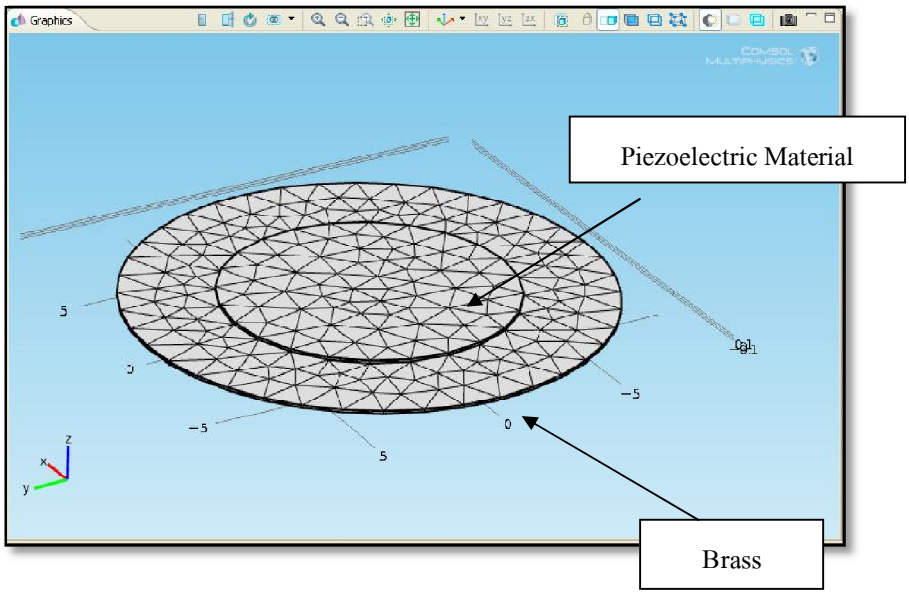
สมมติฐาน

1. การวางเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบซ้อนทับจะช่วยเพิ่มระยะการเคลื่อนตัวได้
2. การยึดจับระหว่างชั้นการซ้อนทับอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียแรงในการเคลื่อนตัว

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมการออกแบบเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์บนโปรแกรม COMSOL Multiphysics โดยกำหนดรายละเอียดและพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3-3
2. ทำการศึกษาระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ได้จากการทดลองของเปียโซอิเล็ก-ทริกทรานสดิวเซอร์แบบชั้นเดียว
3. ออกแบบการวางซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เป็นจำนวนเท่าตามลำดับ พร้อมเปลี่ยนระดับค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าเป็นจำนวนเท่า เท่ากับจำนวนชั้นของเปียโซอิ-เล็กทริกทรานสดิวเซอร์
4. ศึกษาผลการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ของรูปแบบการซ้อนทับแต่ละชั้น
5. ทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง และสรุปผล

ลักษณะการออกแบบเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แสดงดังภาพประกอบบที่ 3-3 ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ของวัสดุตามตารางที่ 3-1 โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากบริษัทผู้ผลิต แต่อาจมีค่าพารามิเตอร์บางตัวที่บริบัทผู้ผลิตไม่ได้ระบุ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าตั้งต้นที่โปรแกรมสำเร็จรูประบุมาให้เป็นค่าในการทดลอง



ภาพประกอบบที่ 3-3 การออกแบบเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์บนโปรแกรมสำเร็จรูป

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

คุณสมบัติ	ค่าคุณสมบัติ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	18 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุเปียโซฯ	11 mm
ความหนาวัสดุเปียโซฯ	0.13 ± 0.05 mm
ความหนาโดยรวม	0.25 ± 0.05 mm
ระดับแรงดันที่ใช้ในการทดลอง	50 Vp-p
ระดับความถี่สัญญาณ	3.5 kHz
Density เปียโซฯ (g/cm^3)	7.5
Density โลหะ (g/cm^3)	7.2

3.2 การทดลองประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จากเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์

การทดลองจะเป็นการหาประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนา โดยทำการศึกษารูปแบบและเทคนิคในการออกแบบอุปกรณ์

แสดงผล เพื่อให้เกิดการแสดงผลอักษรเบรลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและส่งผลให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นสามารถใช้อุปกรณ์ดังกล่าวในการรับรู้ข้อมูลได้เป็นอย่างดี สิ่งที่ทำการศึกษาได้แก่ การยึดจับวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ระยะการเคลื่อนตัวเมื่อมีการป้อนโหลดให้กับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ระยะห่างระหว่างจุดกระตุ้นที่ส่งผลต่อการรับสัมผัส เป็นต้น

3.2.1 การทดลองรูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

ทำการทดลองหารูปแบบการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ เมื่อวัสดุดังกล่าวอยู่ภายในสภาวะแวดล้อมของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จริง โดยทำการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งไว้สามรูปแบบ ได้แก่ continuous node supporting , central supporting และ edge supporting ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นตัวบ่งชี้สำหรับรูปแบบในการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ต่อไป

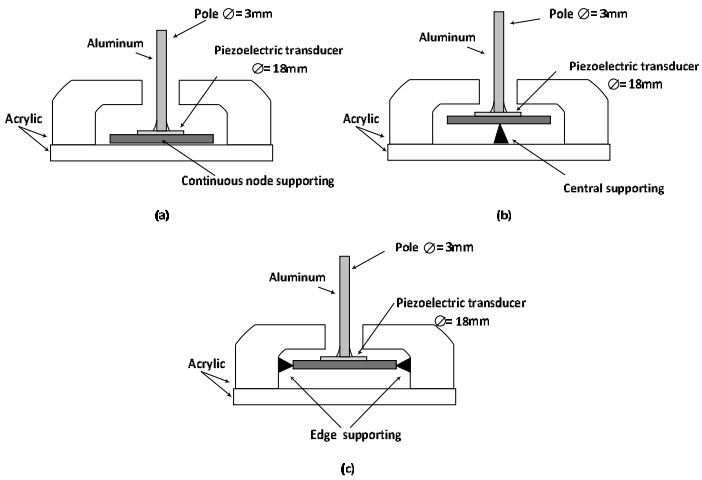
สมมติฐาน

1. การติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แต่ละรูปแบบจะให้ระยะการเคลื่อนตัวที่ต่างกัน
2. การส่งแรงผ่านวัสดุส่งแรงและการยึดจับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ส่งผลให้ระยะการเคลื่อนตัวมีค่าลดลง

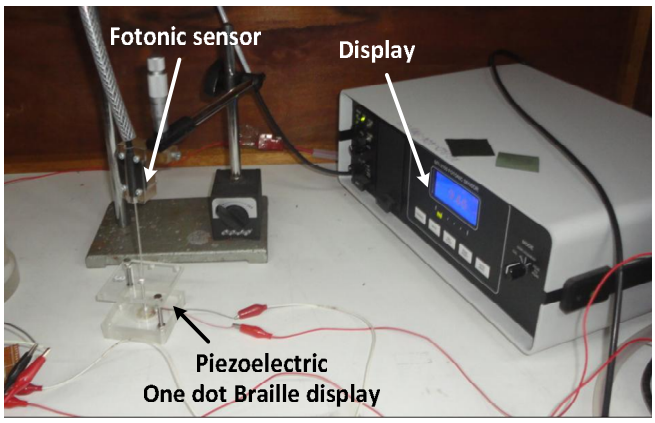
ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมการออกแบบการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวนสามรูปแบบ ได้แก่ node supporting , central supporting และ edge supporting
2. ใช้เครื่องวัดระยะการเคลื่อนตัวแบบโฟโตนิกส์ (Fotonic sensor) เป็นตัววัดระยะในการเปรียบเทียบ
3. ทดสอบการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวที่ละรูปแบบของการติดตั้งดังภาพประกอบที่ 3-5
4. ปรับระดับแรงดันสัญญาณให้มีขนาดเท่ากับค่าสูงสุดที่เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ทำงานได้
5. ปรับระดับความถี่สัญญาณจากค่าน้อยไปหาค่ามาก
6. บันทึกผลการทดลอง ทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง

รูปแบบการออกแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ทั้งสามรูปแบบแสดงดังภาพประกอบที่ 3-4 ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์กรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ ประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ วัสดุส่งผ่านแรง และรูปแบบการติดตั้งภายในการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีพื้นที่ว่างภายในโครงสร้างการติดตั้ง เพื่อเป็นการเพิ่มความอิสระในการเคลื่อนตัวของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ให้เกิดผลดีที่สุด



ภาพประกอบที่ 3-4 การออกแบบการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



ภาพประกอบที่ 3-5 การทดสอบการเคลื่อนตัวแต่ละรูปแบบการติดตั้ง

3.2.2 การทดลองระยะห่างของจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัส

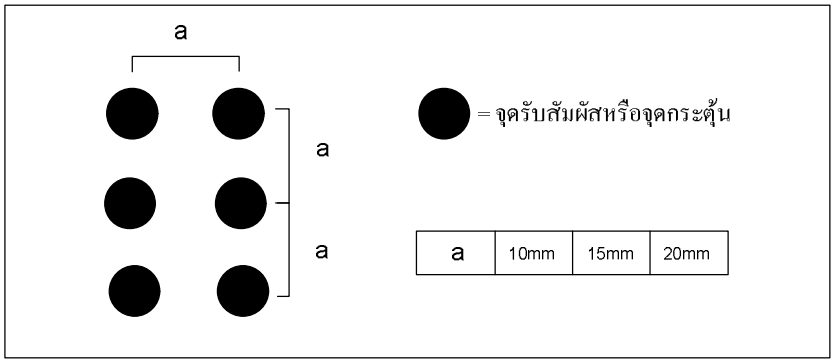
ทำการทดสอบหาตำแหน่งและระยะห่างของจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัสจากฝ่ามือ โดยพิจารณาจากการรับรู้จากผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น การทดสอบจะเป็นการเลื่อนตำแหน่งของจุดกระตุ้นให้มีระยะห่างเพิ่มขึ้น จากนั้นสังเกตุความสามารถในการรับสัมผัสของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นเพื่อนำมาวิเคราะห์หาระยะจุดกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ รูปแบบการทดลองการเพิ่มระยะห่างของจุดกระตุ้นแสดงดังภาพประกอบที่ 3-6

สมมติฐาน

1. การเพิ่มระยะห่างของจุดกระตุ้นทำให้เพิ่มความสามารถในการรับรู้ได้ยิ่งขึ้น
2. ระยะห่างของจุดกระตุ้นต่ำสุดควรมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี

ขั้นตอนการทดลอง

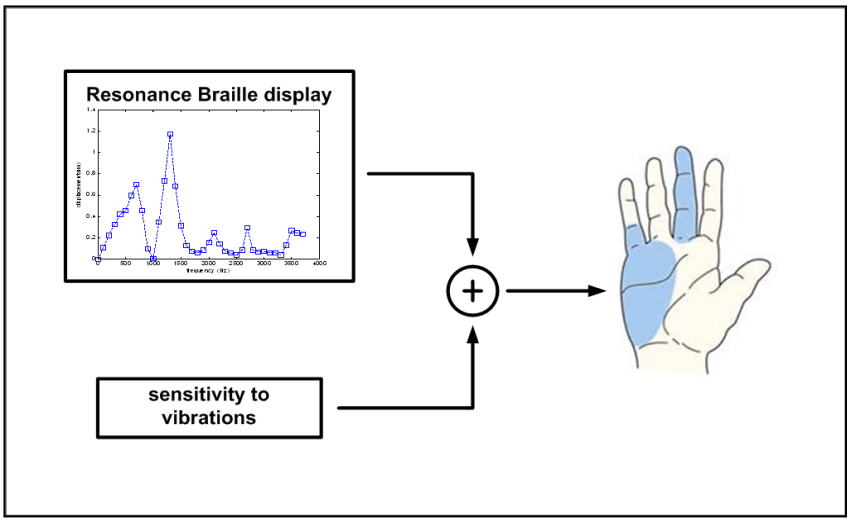
1. เตรียมอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่มีจุดกระตุ้นจำนวน 6 ตำแหน่ง
2. ทดสอบการรับสัมผัสโดยเริ่มจากการปรับระยะจุดกระตุ้นให้มีค่าห่างกัน 10 มิลลิเมตร
3. สังเกตุการรับรู้การสัมผัสจากผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น
4. เพิ่มระยะจุดกระตุ้นครั้งละ 5 มิลลิเมตร
5. ทดสอบการรับสัมผัสอีกครั้ง
6. บันทึกและวิเคราะห์ผลทดลอง



ภาพประกอบที่ 3-6 รูปแบบการทดสอบตำแหน่งของจุดรับสัมผัส

3.2.3 การทดลองหาความถี่ที่เหมาะสมในการรับสัมผัส

เนื่องจากความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์มีค่าสูงกว่าความถี่ที่ฝ่ามือของมนุษย์นั้นมีความสามารถในการรับสัมผัส จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการทดลองเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมสำหรับฝ่ามือเพื่อทำการมอดูลเลชันความถี่ดังกล่าวเข้ากับความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ดังแสดงตามภาพประกอบที่ 3-7 โดยได้ทำการทดสอบกับผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น รายละเอียดผู้เข้าร่วมการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-7 การมอดูลเลชันความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซฯกับความถี่ที่มนุษย์รู้สึก

จากภาพประกอบที่ 3-7 จะเห็นได้ว่าการรับสัมผัสแรงจากอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จะประกอบด้วยความถี่สองส่วนด้วยกันคือ ความถี่สั่นพ้องที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์กับความถี่ค่าหนึ่งของผู้ใช้งานที่สามารถรับรู้ได้ดีที่สุด คือ เมื่อมีการแสดงผลอักษรเบรลล์วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในอุปกรณ์แสดงผลจะทำงานด้วยความถี่สั่นพ้องของตัวอุปกรณ์เอง แต่ความถี่ในการสั่นสะเทือนเพื่อการแสดงผลนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน โดยค่าช่วงความถี่ของผู้ใช้งานนั้นจะเกิดจากผลการทดลอง

สมมติฐาน

1. ค่าช่วงความถี่ของผู้ใช้งานที่สามารถรับรู้สึกได้ควรมีค่าไม่เกินความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

2. ค่าช่วงความถี่ของผู้ใช้งานที่มีวัยใกล้เคียงกันควรมีค่าความถี่ในการรับรู้สึกที่ใกล้เคียงกันหรือเหมือนกัน

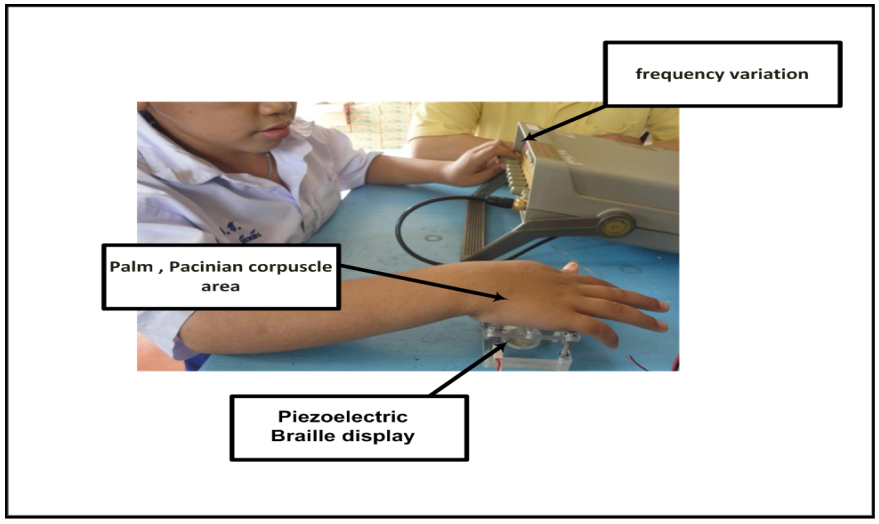
ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ โดยให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นใช้ฝ่ามือเป็นจุดรับสัมผัส ซึ่งจะใช้ฝ่ามือในส่วนบริเวณเส้นประสาท Pacinian
2. ทดสอบการรับสัมผัสโดยเริ่มจาก ให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นปรับความถี่สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณจนถึงค่าความถี่ค่าหนึ่งที่สามารถรู้สึกได้ ดังภาพประกอบที่ 3-8
3. บันทึกค่าความถี่ดังกล่าว ปรับตำแหน่งความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น จากนั้นทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 2
4. ทดสอบในขั้นตอนที่ 2 และ 3 เป็นจำนวนสามครั้งต่อผู้เข้าร่วมการทดลอง
5. บันทึกผลการทดลอง หาค่าเฉลี่ยของความถี่
6. สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลผู้เข้าร่วมการทดลอง

คุณสมบัติ	เพศชาย	เพศหญิง
จำนวน (คน)	15	15
อายุ (ปี)	7-15	7-15
ความสามารถด้านอักษรเบรลล์	ปานกลาง*	ปานกลาง*

* เปรียบเทียบความสามารถด้วยมาตรฐานการเรียนรู้อักษรเบรลล์ภายในโรงเรียน



ภาพประกอบที่ 3-8 วิธีการทดลองหาค่าความถี่ในการรับรู้สัมผัส

จากภาพประกอบที่ 3-8 เป็นการทดสอบหาช่วงความถี่ที่ฝ่ามือของผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นสามารถรับความรู้สึกได้ดีที่สุด ในการทดลองนั้นจะอาศัยความสามารถของฝ่ามือในส่วนที่มีเส้นประสาทชนิด Pacinian ปกคลุมอยู่ ผู้ทดลองจะทำการปรับช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับความรู้สึกของตนเองเพื่อเก็บเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละราย ซึ่งค่าช่วงความถี่ที่ได้นั้นจะเป็นช่วงความถี่ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มหนึ่งที่มีอายุใกล้เคียงกัน และมีความสามารถในการเรียนรู้ระดับอักษรเบรลล์ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความถี่ดังกล่าวอาจจะไม่ครอบคลุมถึงกลุ่มประชากรที่บกพร่องทางการมองเห็นกลุ่มอื่นๆ

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปลข้อความปกติเป็นรูปแบบอักษรเบรลล์

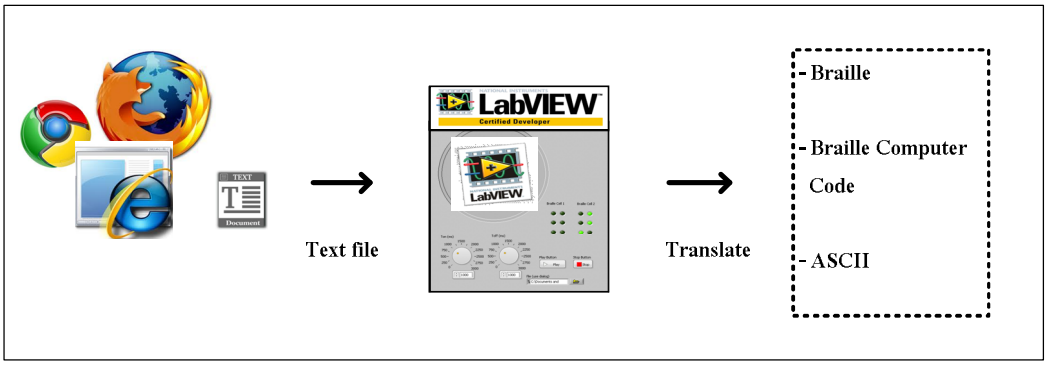
ในการแสดงผลของข้อมูลแบบปกตินั้นไม่สามารถทำให้ผู้บกพร่องทางการมองเห็นรับรู้ได้โดยการรับสัมผัส จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีระบบหรือชุดคำสั่งที่คอยทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบอักษรเบรลล์ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดคำสั่งเพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนข้อความปกติให้อยู่ในรูปแบบอักษรเบรลล์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่ใช้งานในการสื่อสารข้อมูลกับผู้บกพร่องทางการมองเห็นมีความสะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น เพราะฉนั้นประสิทธิภาพการทำงานและความถูกต้องของชุดคำสั่งจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการแสดงผล การทดลองนี้จึงเป็นการหาประสิทธิภาพความถูกต้องในการแปลงข้อมูลปกติไปเป็นอักษรเบรลล์

สมมติฐาน

1. ประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแปลงข้อมูลควรมีค่ามากกว่า 80 %
2. ประสิทธิภาพและความสามารถในการแปลงข้อมูลควรมีค่าใกล้เคียงกันกับโปรแกรมชนิดอื่นที่นิยมใช้กัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมข้อมูลที่อยู่ในรูป Text file จำนวน 30 ชุดข้อมูล โดยที่มาของแต่ละข้อมูลเกิดจากการสุ่มข้อความต่างๆจากหน้า Web Page
2. เตรียมโปรแกรม LabVIEW พร้อมทั้งเปิดชุดคำสั่งในการแปลงข้อความไปเป็นอักษรเบรลล์
3. ทำการแปลข้อความจาก Text file ทีละชุดข้อมูล รูปแบบกระบวนการทำงานแสดงดังภาพประกอบที่ 3-9
4. เปรียบเทียบผลการแสดงผลอักษรเบรล์กับรูปแบบมาตรฐาน พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพในการทำงานของชุดคำสั่ง
5. สรุปผลการทดลอง



ภาพประกอบที่ 3-9 กระบวนการแปลงข้อมูลและการแสดงผลอักษรอักษรเบรลล์

จากภาพประกอบที่ 3-9 เป็นกระบวนการแปลงข้อความก่อนการแสดงผลเป็นอักษรเบรลล์ โดยผู้ใช้งานหรือผู้ฝึกฝนจะเริ่มต้นจากการคัดเลือกข้อมูลพร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบ Text file หลังจากนั้นชุดคำสั่งก็จะทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบอักษรเบรลล์และอื่นแบบอัตโนมัติ และจัดส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่ผู้บกพร่องทางการมองเห็นใช้งานอยู่

3.4 การเก็บข้อมูลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็น

การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการเก็บผลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็นในโรงเรียนสอนผู้พิการทางสายตา เนื่องจากผู้ทดลองกลุ่มดังกล่าวมีพื้นฐานทางด้านการอ่านและการเขียนอักษรเบรลล์ค่อนข้างดี ผลการทดลองที่ได้จะเป็นความสามารถในการฝึกฝนการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ อีกทั้งยังรวมไปถึงการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีต่อผู้ใช้งาน รายละเอียดและผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

3.4.1 การทดลองการแยกแยะจุดแสดงผลอักษรเบรลล์

ความสามารถในการแยกจุดแสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นแต่ละคนนั้นมีค่าต่างกันออกไป เกิดจากปัจจัยหลักๆคือ การฝึกฝนในการใช้อวัยวะในการรับสัมผัส ความสามารถทางด้านความรู้สึกของอวัยวะ และการเกิดความพิการทับซ้อนของผู้ใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองหาความสามารถในการแยกแยะจุดรับรับสัมผัส โดยเริ่มจากการทดสอบด้วยการฝึกฝนทักษะการรับรู้ เพื่อให้ผู้มีความบกพร่องทางการมองเห็นมีความคุ้นเคยกับเทคนิคใหม่ในการแสดงผลอักษรเบรลล์ อีกทั้งทำการเปรียบเทียบความแตกต่างความสามารถในการแยกแยะจุดแสดงผลก่อนและหลังการฝึกฝน

สมมติฐาน

1. ความสามารถในการแยกแยะจุดสัมผัสหลังการฝึกฝนจะดีกว่าความสามารถก่อนการฝึกฝน
2. เมื่อผ่านการฝึกฝนการแยกแยะจุดแสดงผลอักษรเบรลล์ ผู้ที่บกพร่องทางการมองเห็นจะใช้เวลาน้อยลงในการรับสัมผัส

ขั้นตอนการทดลอง

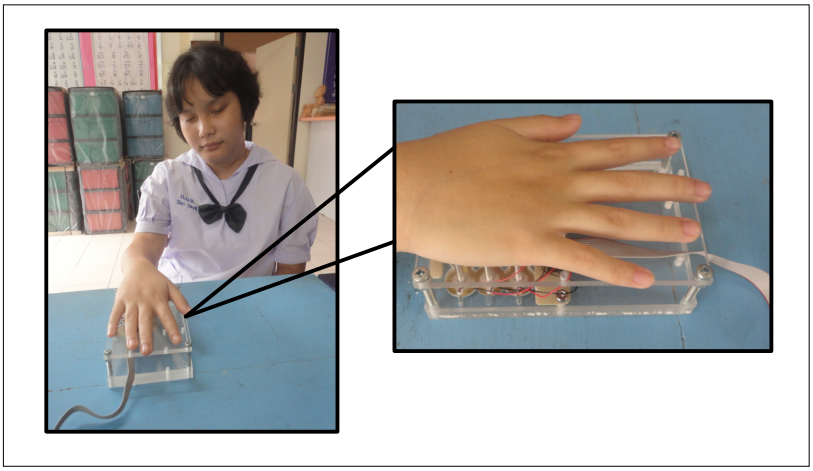
1. เตรียมอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ และผู้เข้าร่วมการทดลองในที่นี้ผู้วิจัยกำหนดจำนวนผู้ทดลอง 3 คน
2. ใช้ฝ่ามือของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นเป็นจุดรับสัมผัส ซึ่งจะใช้ฝ่ามือส่วนบริเวณเส้นประสาท Pacinian เป็นบริเวณทดลอง

3. ฝึกฝนการแยกแยะจุดแสดงผล โดยผู้วิจัยจะทำการระบุจุดแสดงผลอักษรเบรลล์เพื่อให้ผู้ทดสอบเรียนรู้ตำแหน่งจุดแสดงผล เวลาในการฝึกฝนผู้วิจัยได้กำหนดไว้เบื้องต้นคือ 10 ชั่วโมงต่อผู้ทดสอบ 1 คน ตัวอย่างการฝึกฝนแสดงดังภาพประกอบที่ 3-10

4. ทำการทดสอบการแยกแยะจุดแสดงผล โดยผู้วิจัยจะทำการสุ่มจุดแสดงผลอักษรเบรลล์จำนวน 30 ครั้ง เพื่อให้ผู้ทดลองระบุตำแหน่งจุดแสดงผลดังกล่าว

5. บันทึกข้อมูลความถูกต้องและความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง

6. สรุปผลการทดลอง



ภาพประกอบที่ 3-10 การฝึกฝนและการทดสอบการแยกแยะจุดแสดงผล

3.4.2 การทดลองหาช่วงความเร็วหรือช่วงเวลาในการรับรู้ข้อมูล

เวลาในการรับรู้ข้อมูลของผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นนั้นจะเป็นปัจจัยหนึ่งในความสามารถของการแยกแยะจุดแสดงผลของผู้ทดลอง หากช่วงเวลาดังกล่าวไม่สัมพันธ์กับความสามารถในการรับรู้ของแต่ละบุคคลแล้วนั้นก็จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในส่วนของการรับรู้ข้อมูลขึ้นมาทันที ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบหาช่วงเวลาดังกล่าวจากผู้ทดลองจริง ค่าช่วงเวลาที่ได้นั้นจะประกอบไปด้วยช่วงเวลาในการแสดงผลของพยัญชนะในรูปแบบอักษรเบรลล์ (T_{on}) และช่วงเวลาในการสับเปลี่ยนหรือเลื่อนตำแหน่งการแสดงผลพยัญชนะตัวถัดไป (T_{off}) ซึ่งค่าช่วงเวลาทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดการออกแบบและระยะเวลาในการส่งข้อมูลในส่วนของระบบการส่งข้อมูล

สมมติฐาน

1. ช่วงเวลาในการรับรู้ข้อมูลของกลุ่มผู้ทดลองควรมีค่าใกล้เคียงกัน
2. ค่าช่วงเวลา (T_{on}) และ (T_{off}) ควรไม่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ และผู้เข้าร่วมการทดลองในที่นี้ผู้วิจัยกำหนดจำนวนผู้ทดลอง 3 คน
2. ใช้ฝ่ามือของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นเป็นจุดรับสัมผัส ซึ่งจะใช้ฝ่ามือส่วนบริเวณเส้นประสาท Pacinian เป็นบริเวณทดลอง
3. ทำการส่งข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ครั้งละหนึ่งตัวอักษร
4. จับเวลาในการรับรู้ (T_{on}) ของผู้ทดลอง ส่งข้อมูลตัวถัดไปโดยกำหนดระยะเวลา(T_{off}) เท่ากับเวลา (T_{on}) ก่อนหน้านี้
5. ทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 4 จำนวน 30 ตัวอักษร
6. บันทึกค่าเฉลี่ยของเวลา (T_{on}) และ (T_{off})
7. สรุปผลการทดลอง

3.5 การทดลองการใช้พลังงานในการแสดงผลอักษรเบรลล์

อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น เป็นอุปกรณ์แสดงผลแบบพกพา โดยพลังงานจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการใช้งานฉนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองหาอัตราการใช้พลังงานในการแสดงผล เพื่อทำการเปรียบเทียบหาจุดเด่นในเรื่องพลังงานกับเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นๆ วิธีการทดลองในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะทำการวัดและบันทึกกระแสไฟฟ้าที่เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ใช้ในการแสดงผลในแต่ละตำแหน่ง เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุด อีกทั้งทำการคำนวนและเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานในหนึ่งตำแหน่งแสดงผลกับเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นๆ

3.6 อุปสรรคระหว่างการวิจัย

ในการทดลองการแสดงผลอักษรเบรลล์โดยใช้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์นั้น จะมีเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ออกมารบกวนผู้วิจัยและผู้ร่วมการทดลอง เนื่องจากอุปกรณ์แสดงผลที่ผู้วิจัยในพัฒนาขึ้นยังไม่สามารถเก็บความดังของเสียงรบกวนได้ดีมากนัก

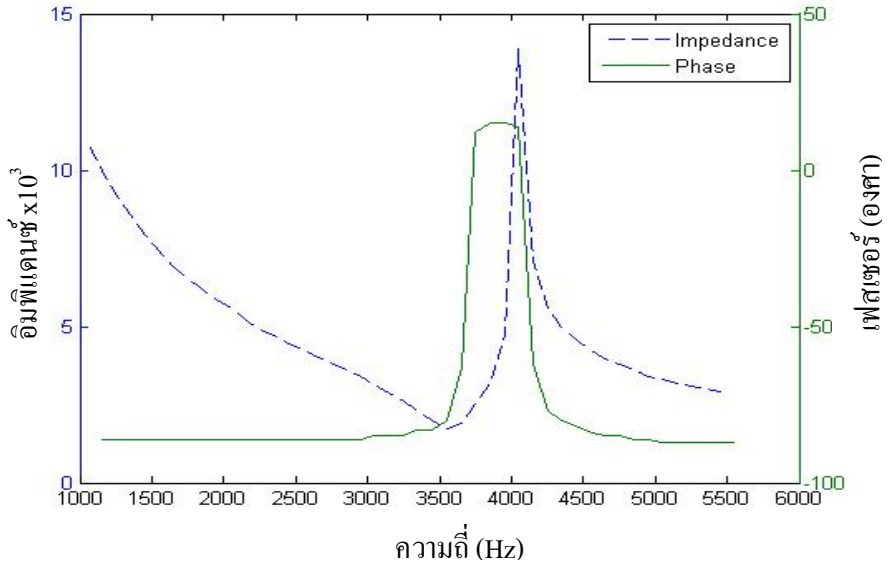
บทที่ 4
ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ โดยเริ่มจากผลการทดลองคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ รวมทั้งผลการทดลองการตอบสนองต่อการรับสัมผัสของผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น

4.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

4.1.1 การทดลองหาความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ด้วยอิมพิแดนซ์และมุมเฟสเซอร์

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาพฤติกรรมของค่าความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ เพื่อจะได้เป็นตัวกำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการทำงานของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการขับเคลื่อนการแสดงผล ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4- 1

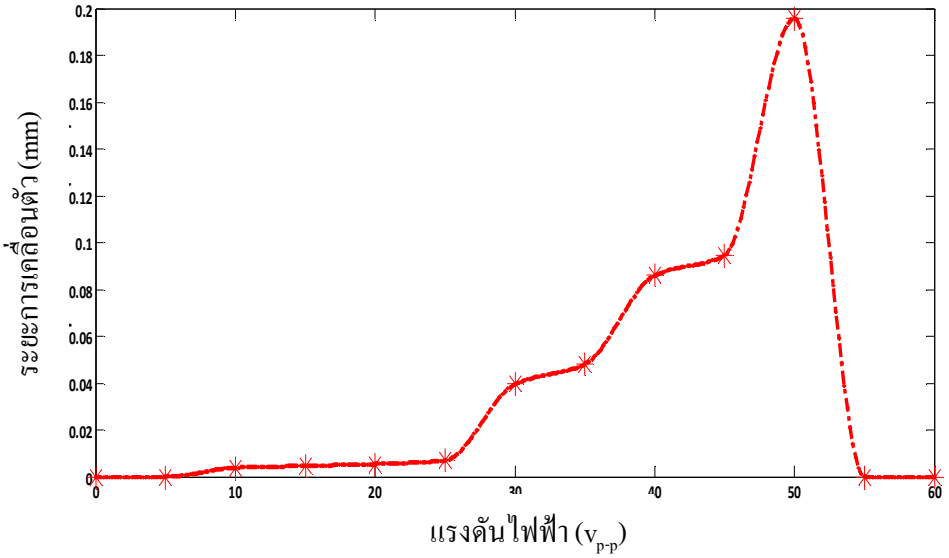


ภาพประกอบที่ 4-1 คุณสมบัติทางด้านความถี่ของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

จากภาพประกอบที่ 4-1 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ที่มีผลตอบสนองต่อความถี่ต่างๆ โดยพบว่าในช่วงความถี่ 3.5-3.6 kHz ค่าอิมพิ-แดนซ์ของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะมีค่าต่ำสุดและมุมเฟสเซอร์จะมีค่าเท่ากับ 0 องศา ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเรียกว่า ความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ในขณะเดียวกันเมื่อค่าอิมพิแดนซ์มีค่าสูงสุดอีกครั้งและมุมเฟสเซอร์มีค่าเท่ากับ 0 องศาในทิศทางลง จะเรียกพฤติกรรมดังกล่าวว่า การต่อต้านความถี่สั่นพ้องของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วง 4.2-4.3kHz เพราะฉนั้นจึงสรุปได้ว่าการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ดีที่สุดจะอยู่ในพฤติกรรมที่เรียกว่า ความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency) เนื่องจากเกิดการหักล้างกันระหว่างค่าอินดักตีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive reactance) และคาปาซิตีฟรีแอกแตนซ์ (Capacitive reactance) ส่งผลให้เหลือเฉพาะค่า รีซีสแตนท์ (Resistance) ทำให้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ได้รับพลังงานในการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.1.2 การทดลองการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละระดับของแรงดันไฟฟ้า

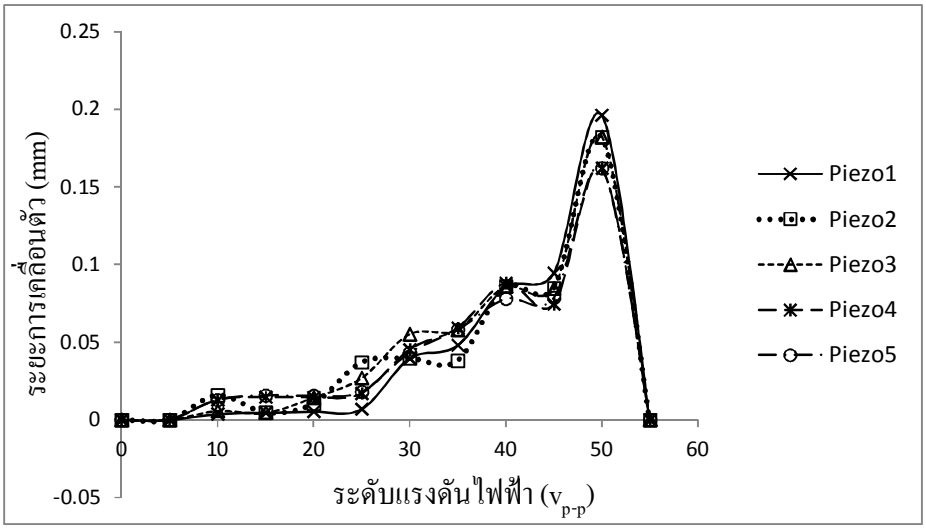
การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาพฤติกรรมระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า โดยผลที่ได้จะเป็นตัวกำหนดระดับแรงดันในการทำงานของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4- 2



ภาพประกอบที่ 4- 2 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละระดับแรงดัน

จากภาพประกอบที่ 4-2 แสดงถึงลักษณะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าจากระดับต่ำไปยังระดับสูง ซึ่งสังเกตุได้ว่าระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มโดยมีลักษณะการเคลื่อนตัวแบบแปรผันโดยตรงกับระดับแรงดันไฟฟ้า แต่เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 55โวลต์จะพบว่าระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะมีค่าลดลงเป็นศูนย์ เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวมีค่าเกินพิกัดการทำงานของวัสดุ ส่งผลให้วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เกิดการพังทลาย จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะเคลื่อนตัวแบบแปรผันโดยตรงกับระดับแรงดันไฟฟ้า

การทดลองขั้นต่อไปจะเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติความเหมือนหรือความแตกต่างของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แต่ละตัวโดยจะพิจารณาจากความสามารถในการเคลื่อนตัวในแต่ละระดับแรงดันของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวน 5 ตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-3

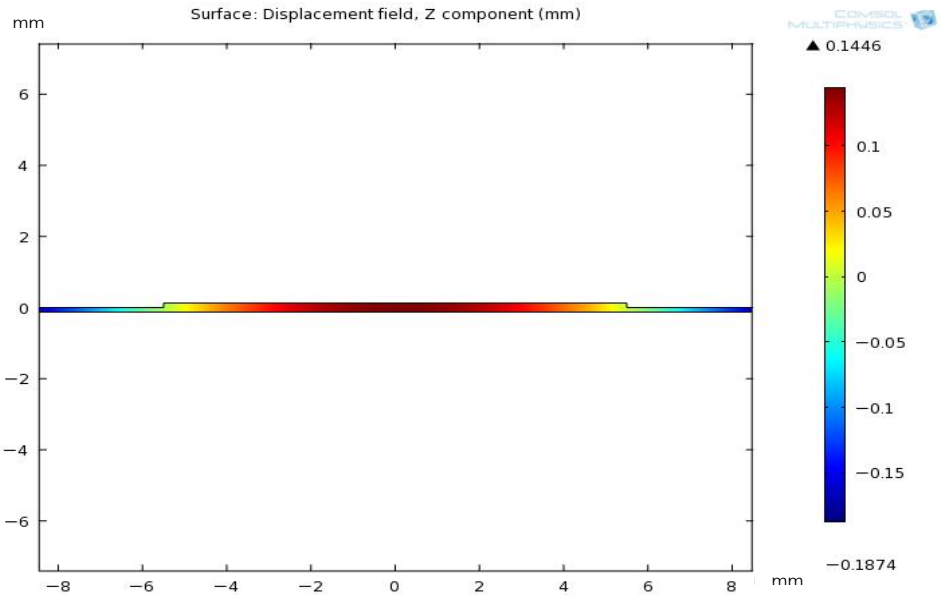


ภาพประกอบที่ 4-3 ความแตกต่างในการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

จากภาพประกอบที่ 4-3 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวน 5 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนตัวของวัสดุภายใต้ระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกันจะให้ระยะการเคลื่อนตัวที่ใกล้เคียงกัน และเกิดจุดพังทลายที่ระดับแรงดันเดียวกันจึงสรุปได้ว่า วัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่นำมาใช้ในการวิจัยให้ค่าคุณสมบัติในการทำงานที่เหมือนกัน

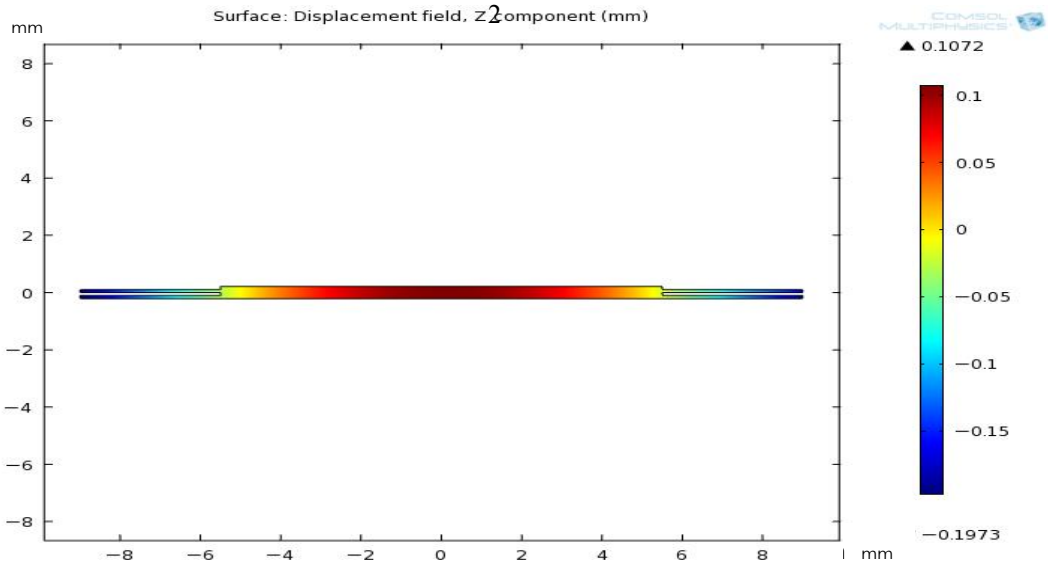
4.1.3 การทดสอบการเคลื่อนตัวในกรณีที่มีการวางซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ระดับสูงสุดโดยนำเสนอเทคนิคการซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวแกนเป็นจำนวนเท่าของจำนวนชั้นที่ซ้อนทับกัน ในขั้นตอนแรกจะทำการทดลองเพื่อดูพฤติกรรมของระยะการเคลื่อนตัวสำหรับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบหนึ่งเลเยอร์ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-4

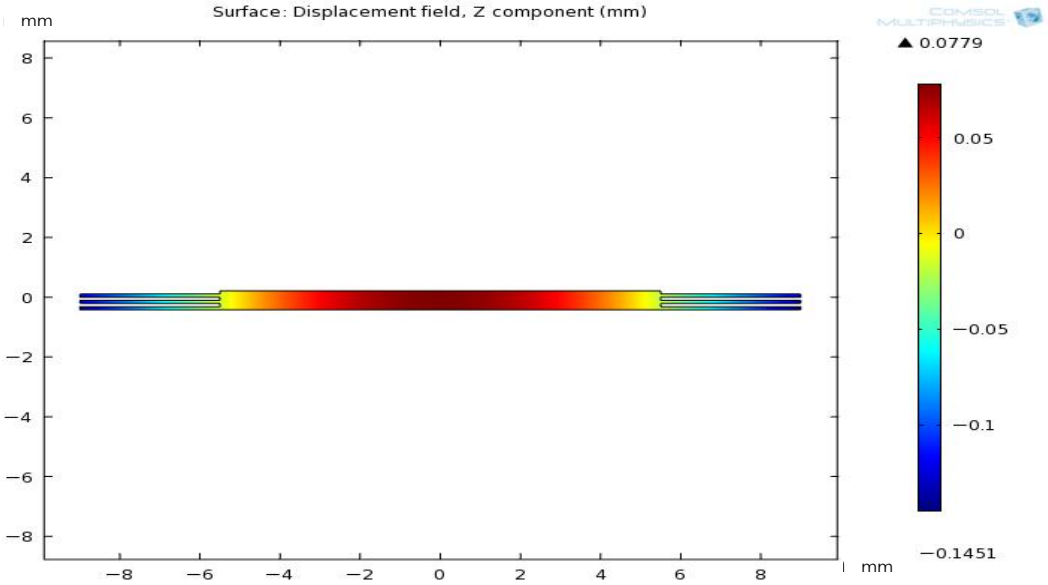


ภาพประกอบที่ 4-4 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

จากภาพประกอบที่ 4-4 แสดงถึงการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบหนึ่งเลเยอร์ โดยค่าระยะการเคลื่อนตัวที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.144 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณกึ่งกลางของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ การทดลองขั้นต่อไปจะเป็นการศึกษาการเพิ่มระยะการเคลื่อนตัวให้กับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ โดยการซ้อนทับจำนวนเลเยอร์เพื่อหาความเป็นไปได้ในการเคลื่อนตัว ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4-5 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวนสองเลเยอร์



ภาพประกอบที่ 4-6 ระยะการเคลื่อนตัวของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวนสามเลเยอร์

จากภาพประกอบที่ 4-5 และ 4-6 เป็นการซ้อนทับจำนวนชั้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวน 2 ชั้น และ 3 ชั้นตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อทำการวิเคราะห์การเกิดระยะการเคลื่อนตัวจากเทคนิคการซ้อนทับดังกล่าวจะส่งผลให้ระยะการเคลื่อนตัวลดลงจากระยะการเคลื่อนตัวเดิม ซึ่งผลที่ได้นั้นมีค่าสวนทางกับสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้เบื้องต้น อาจเป็นเพราะปัจจัย

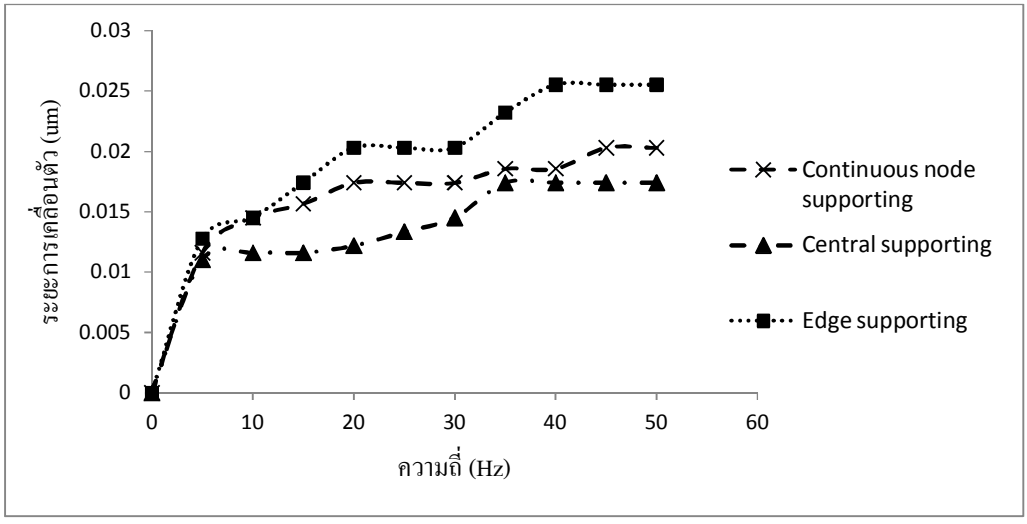
ในการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ระหว่างชั้นที่เป็นตัวดูดกลืนแรงกระทำในการเคลื่อนตัวให้มีค่าลดลง อีกทั้งในทางปฏิบัติจริงนั้นการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบหลายเลเยอร์นั้นค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานล้วนแต่แสดงพฤติกรรมเป็นตัวดูดกลืนแรงกระทำ และเพิ่มมวลให้กับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

จึงสรุปได้ว่าเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวน 1 เลเยอร์จะให้ระยะการเคลื่อนตัวที่ดีที่สุด เพราะฉนั้นในการแสดงผลอักษรเบรลล์ในแต่ละตำแหน่งนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เพียงหนึ่งเลเยอร์เป็นตัวขับเคลื่อนการแสดงผล

4.2 การทดลองประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จากเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์

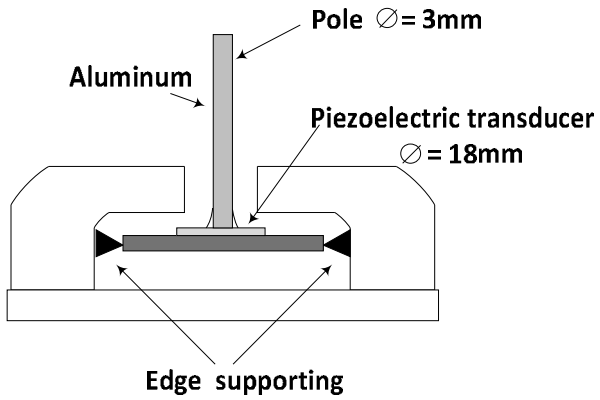
4.2.1 การทดลองรูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหารูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เมื่อวัสดุดังกล่าวอยู่ภายในสภาวะแวดล้อมของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จริง ผลการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จำนวน 3 รูปแบบได้แก่ continuous node supporting , central supporting และ edge supporting ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-7



ภาพประกอบที่ 4-7 การเกิดระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละรูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์

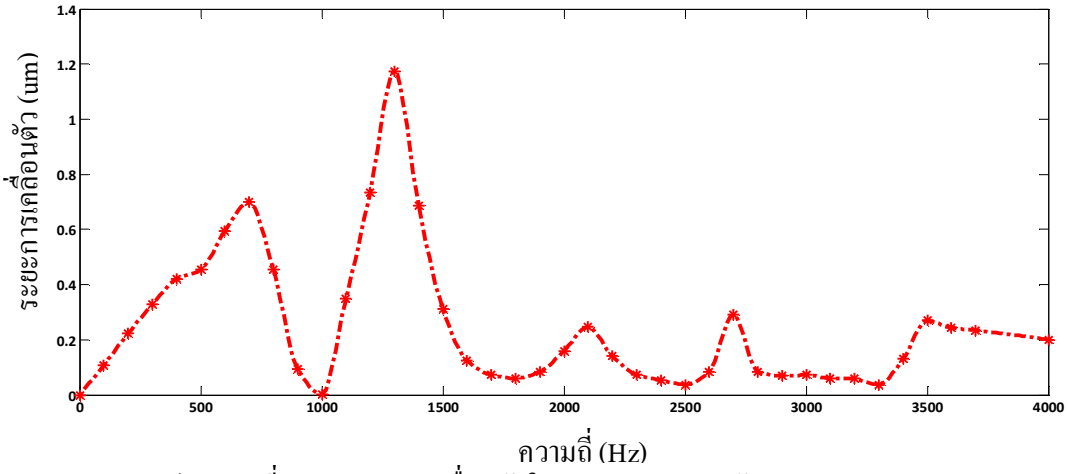
จากภาพประกอบที่ 4-7 แสดงการเกิดระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z จากผลการทดลองพบว่ารูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ให้ผลการเคลื่อนตัวที่ดีที่สุด คือ edge supporting ,continuous node supporting และ central supporting ตามลำดับ เพราะฉะนั้นในการออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ ผู้วิจัยจึงทำการเลือกรูปแบบการติดตั้งตัวเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ แบบ edge supporting เนื่องจากมีแนวโน้มของระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ดีกว่าระบบอื่นๆดังผลการทดลอง ส่วนประกอบสำคัญของการติดตั้งเป็นอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์แบบ edge supporting แสดงดังภาพประกอบที่ 4-8



ภาพประกอบที่ 4-8 รูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบ Edge supporting

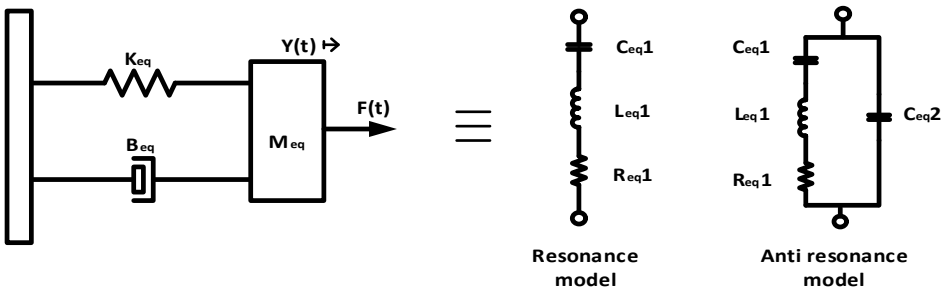
จากภาพประกอบที่ 4-8 แสดงส่วนประกอบของเทคนิคการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย pole เป็นวัสดุประเภทอลูมิเนียมที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งแรงสั่นสะเทือนจากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3mm มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.7541g ติดตั้งโดยตรงกับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

การทดลองขั้นต่อไปจะเป็นการทดลองความถี่สั่นพ้องของระบบโดยรวมของการแสดงผลแบบ edge supporting เนื่องจากการติดตั้งแบบ edge supporting เป็นรูปแบบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่ดีที่สุด โดยทำการศึกษาหาความถี่ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ระดับสูงสุด ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-9



ภาพประกอบที่ 4-9 ระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z สำหรับ edge supporting

จากภาพประกอบที่ 4-9 แสดงการเกิดระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ของระบบการแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ edge support ที่ระดับความถี่ต่างๆ จะสังเกตุได้ว่าความถี่ที่ทำให้เกิดระยะการเคลื่อนตัวในการแสดงผลได้ดีที่สุดคือ 1.3 kHz ซึ่งให้ระดับการแสดงผลประมาณ 1.2 μm ผลการทดลองนี้ทำให้เห็นว่าความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซและระยะการเคลื่อนตัว ต่างไปจากความค่าตั้งต้นซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมดังกล่าวด้วยวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและวงจรสมมูลทางกลเพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยหลักการพิจารณาสามารถเปรียบเทียบค่าระหว่างวงจรสมมูลทางกลไปเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้ากลับไปกลับมาได้ วงจรสมมูลทางกลและวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แสดงดังภาพประกอบที่ 4-10



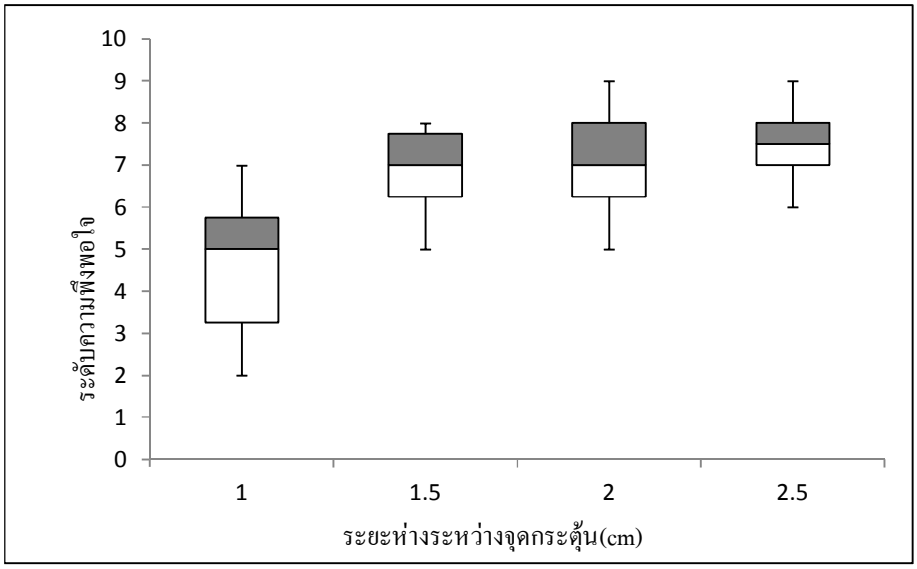
ภาพประกอบที่ 4-10 วงจรสมมูลทางกลและทางไฟฟ้าของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

จากภาพประกอบที่ 4-10 สามารถอธิบายพฤติกรรมการเกิดความถี่สั่นพ้องของระบบได้คือ มวลของวัสดุส่งแรงและการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะแสดงพฤติกรรม

เป็นค่าความเหนี่ยวนำในทางวงจรไฟฟ้า เมื่อมวลของระบบมีค่าเพิ่มจะส่งผลให้ค่าความถี่สั่นพ้องมีค่าลดลงจากค่าความถี่สั่นพ้องเดิม สรุปผลการทดลองที่ผ่านมาข้างต้นคือ ผู้วิจัยทำการเลือกเทคนิคการติดตั้ง เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบ edge support เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ดีกว่าเทคนิคอื่น อีกทั้งเลือกใช้ความถี่ 1.3 kHz เป็นความถี่สั่นพ้องของระบบโดยรวม

4.2.2 การทดลองระยะห่างของจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัส

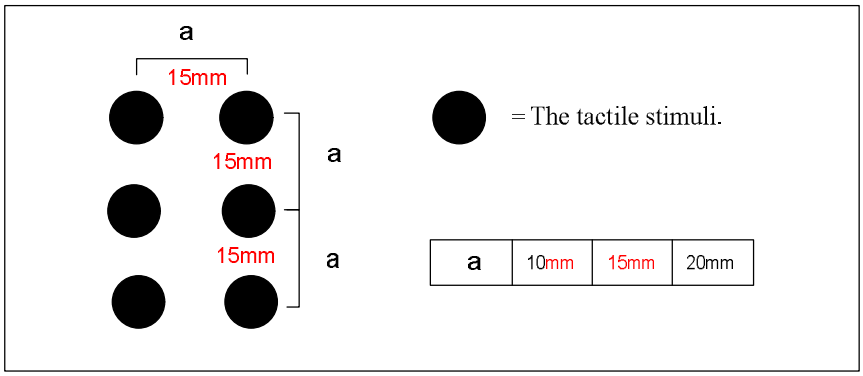
ผลการทดลองนี้เป็นผลการทดลองในขั้นตอนเริ่มต้นของการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ เพื่อที่จะศึกษาหาตำแหน่งและระยะห่างของจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัสจากฝ่ามือ โดยทำพิจารณาจากการรับรู้จากผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็น ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-11



ภาพประกอบที่ 4-11 คะแนนความพึงพอใจของระยะกระตุ้นจากผู้เข้าร่วมทดสอบ

จากภาพประกอบที่ 4-11 เป็นกราฟแสดงคะแนนจากผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการมองเห็นจำนวน 30 คนในการทดสอบหาระยะการกระตุ้นบนฝ่ามือจากตัวกระตุ้นที่วางตัวใกล้กัน โดยแบ่งระยะห่างของจุดกระตุ้นเป็น 4 ระยะ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าที่ระยะห่างของจุดกระตุ้น 1 เซนติเมตรค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้มีค่าเท่ากับ 5 คะแนน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระยะจุดกระตุ้นอื่นๆอีกทั้งช่วงคะแนนที่ได้นั้นมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลอยู่สูง ขณะที่ระยะห่างของจุดกระตุ้น 1.5 และ 2 เซนติเมตร จะสังเกตุได้ว่าค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าข้อมูล

ชุดอื่นๆ อีกทั้งในส่วนของระยะการกระตุ้นที่ 2.5 เซนติเมตรจะให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ 7.5 คะแนน ซึ่งเป็นค่าที่ดีกว่าระยะกระตุ้นทุกระยะ

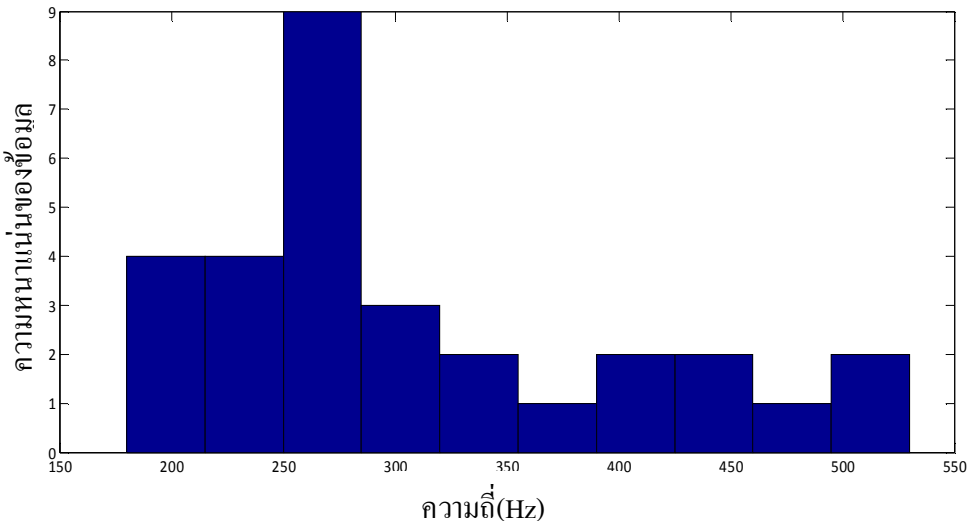


ภาพประกอบที่ 4-12 ระยะจุดกระตุ้นที่ได้จากการทดลอง

เพราะฉนั้นสรุปได้ว่า ที่ระยะกระตุ้นมากกว่า 2 เซนติเมตรผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นจะให้คะแนนค่าเฉลี่ยสูงกว่าระยะกระตุ้นชนิดอื่น แต่ในทางกลับกันที่ระยะการกระตุ้นดังกล่าวค่อนข้างจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ค่อนข้างมาก อาจส่งผลให้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์มีขนาดใหญ่และใช้พื้นที่บนฝ่ามือค่อนข้างกว้าง ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกระยะการกระตุ้นที่เหมาะสมทั้งการลดขนาดอุปกรณ์และความสามารถในการแยกจุดกระตุ้นของผู้ใช้งานที่ขนาด 1.5 เซนติเมตร เนื่องจากค่าดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ยอมรับได้และมีค่าเท่ากับระยะการกระตุ้นที่ 2 เซนติเมตร ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 4-12

4.2.3 การทดลองหาความถี่ที่เหมาะสมในการรับสัมผัส

ผลการทดลองนี้เป็นการศึกษาหาความสามารถของฝ่ามือในส่วนบริเวณเส้นประสาท Pacinian ที่มีผลต่อความถี่ในการกระตุ้น อีกทั้งเพื่อนำค่าความถี่ดังกล่าวไปทำการมอดูลเลชันเข้ากับความถี่สั่นพ้องของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เพื่อช่วยให้ฝ่ามือของผู้ใช้งานเกิดการรับรู้และทำให้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-13

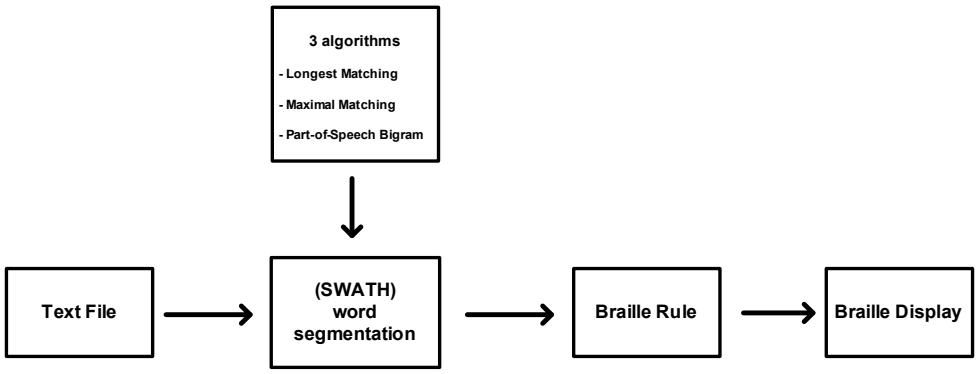


ภาพประกอบที่ 4-13 ความถี่ที่ฝ่ามือรับรู้สึกถึงการกระตุ้นด้วยแรงสั่นสะเทือน

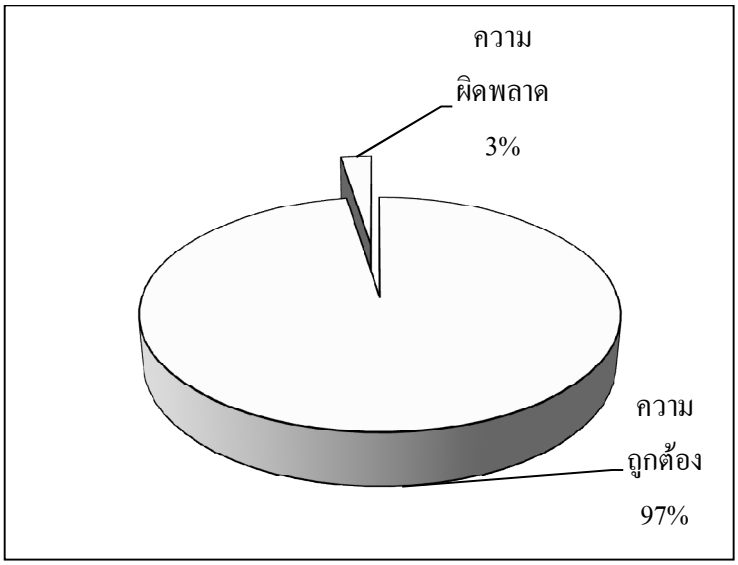
จากภาพประกอบที่ 4-13 แสดงถึงช่วงข้อมูลความถี่ที่ฝ่ามือของผู้ทดลองรับสัมผัสได้โดยสังเกตุได้ว่าจากผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 30 คนค่าเฉลี่ยของความถี่จะมีค่าประมาณ 250 - 300 Hz ซึ่งค่าความถี่ดังกล่าวเป็นกลุ่มความถี่ที่ผู้เข้าร่วมการทดลองรับสัมผัสได้มากที่สุด จนสรุปได้ว่าความถี่ที่ใช้ในการมอดูลเลชันกับความถี่สั่นพ้องกับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะมีค่าครอบคลุมกับช่วงความถี่ที่ได้จากการทดลองข้างต้น

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบแปลข้อความปกติเป็นรูปแบบอักษรเบรลล์

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาความสามารถของชุดคำสั่งในการแปลงข้อความปกติเป็นรูปแบบอักษรเบรลล์ ผลที่ได้ในขั้นตอนแรกจะนำเสนอเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการแยกคำไทยออกจากประโยค เนื่องจากในประโยคที่ต้องการแสดงผลเป็นอักษรเบรลล์นั้นจะประกอบด้วยคำหลายๆคำมารวมกัน ฉะนั้นการแยกคำออกจากประโยคจึงมีความจำเป็นอย่างมากก่อนการแสดงผล อีกทั้งยังเป็นการตรวจสอบชนิดของคำเพื่อจัดเรียงลำดับการแสดงผลให้เป็นไปตามกฎของการเขียนอ่านอักษรเบรลล์ กระบวนการแยกคำออกจากประโยคและผลการทดลองประสิทธิภาพการแยกคำแสดงดังภาพประกอบที่ 4-14 และ 4-15 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4-14 กระบวนการแยกคำไทยออกจากประโยค



ภาพประกอบที่ 4-15 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแยกคำไทยออกจากประโยค

จากภาพประกอบที่ 4-14 เป็นกระบวนการทำงานในขั้นตอนการแยกคำชนิดภาษาไทยออกจากประโยคที่ต้องการแสดงผลเป็นอักษรเบรลล์ ในขั้นตอนนี้จะมีชุดคำสั่งที่ทำงานด้วย 3 ขั้นตอนวิธีด้วยกันคือ Longest Matching คือวิธีตัดคำแบบเลือกคำที่ยาวที่สุด Maximal Matching คือวิธีตัดคำแบบสอดคล้องกันมากที่สุด Part-of-speed Bigram คือวิธีตัดคำแบบดูลำดับหน้าที่ของคำนั้น โดยวิธีการทั้ง 3 ขั้นตอนข้างต้นจะอยู่ภายใต้โปรแกรมที่เรียกว่า

SWATH (Smart Word Analysis for Thai) ซึ่งจะดำเนินงานภายชุดคำสั่งจาก LabVIEW อีกครั้ง ผลที่ได้จากภาพประกอบที่ 4-15 จะแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการแยกคำไทยออกจากประโยคนั้นจะให้ค่าความถูกต้องถึง 97 % จากข้อมูลการทดลองจำนวน 30 ชุดข้อมูล ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพดังกล่าวเป็นที่ยอมรับได้ ตัวอย่างความผิดพลาดของการแยกคำที่พบได้ส่วนใหญ่แสดงดังต่อไปนี้

ตัวอย่างประโยค : ผู้โดยสารทั้งหมดได้รับการช่วยเหลือออกมากว่าร้อยคน

ผลการแยกคำ : ผู้|โดยสาร|ทั้งหมด|ได้|รับ|การ|ช่วยเหลือ|ออก|มาก|ว่า|ร้อย|คน

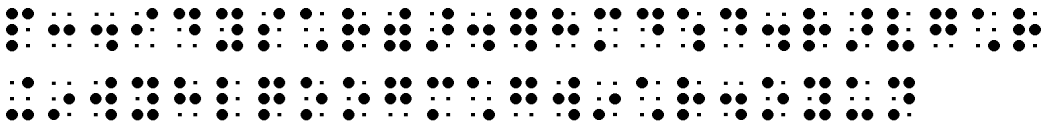
ตัวอย่างประโยค : สรุปบัญชีย้อนหลังว่ายอดขายมีทิศทางเป็นอย่างไร

ผลการแยกคำ : สรุป|บัญชี|ย้อน|หลัง|ว่าย|อด|ขาย|มี|ทิศทาง|เป็น|อย่างไร

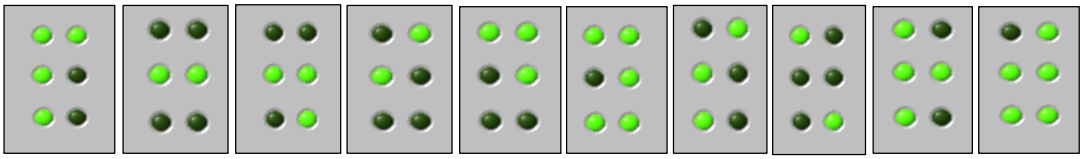
ผลการทดลองขั้นต่อไปจะเป็นการเปรียบเทียบการแสดงผลอักษรเบรลล์กับโปรแกรมที่นิยมใช้งานกันในปัจจุบัน ในที่นี้ผู้วิจัยได้ ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรม TBTW (Thai Braille translation for windows) และ RSBraille (Ratchasuda Braille) ผลการเปรียบเทียบและตัวอย่างการแสดงผลแสดงดังตารางที่ 4-1 และภาพประกอบที่ 4-16 , 4-17 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องการแสดงผลอักษรเบรลล์

ชนิดโปรแกรม	**เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง**
Thai Braille translation for windows	100%
Ratchasuda Braille	100%
โปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนา	100%



ภาพประกอบที่ 4-16 ตัวอย่างการแปลงข้อความเป็นเบรลล์ด้วยโปรแกรม TBTW



ภาพประกอบที่ 4-17 ตัวอย่างการแปลงข้อความเป็นเบรลล์จากชุดคำสั่งที่พัฒนาบน LabVIEW

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า ชุดคำสั่งในการแปลงข้อความปกติให้อยู่ในรูปแบบอักษรเบรลล์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้น มีความสามารถเทียบเท่ากับโปรแกรมที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าการแยกคำออกจากประโยคยังมีความผิดพลาด แต่ลักษณะการแสดงผลยังมีลักษณะที่เหมือนกันกับโปรแกรมทั่วไปทุกประการ โดยความถูกต้องในอ่านนั้นส่วนหนึ่งจะเกิดจากทักษะในการพิจารณาการแยกคำของผู้อ่าน ดังเช่นตัวอย่างข้างต้นที่มีการแยกคำผิดพลาด (ว่าย|อด) ซึ่งควรจะเป็น (ว่า|ยอด) แต่เมื่อมีการแสดงผลจะพบได้ว่ายังแสดงผลเป็นไปตามลำดับปกติ ตรงจุดนี้หากผู้อ่านมีทักษะในการวิเคราะห์ก็จะสามารถลดความผิดพลาดในการรับรู้ข้อมูลได้เป็นอย่างดี

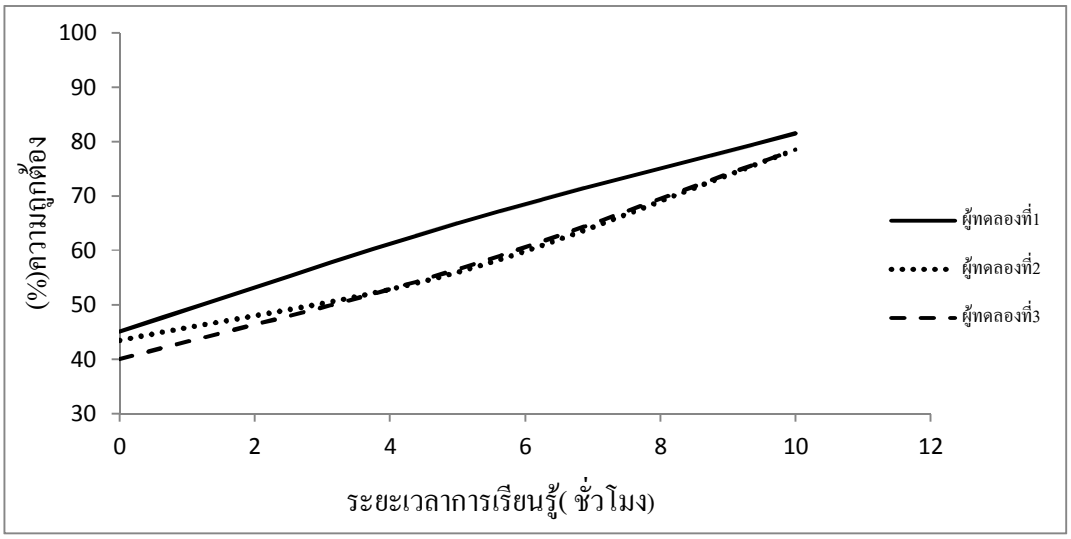
4.4 การเก็บข้อมูลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็น

4.4.1 การทดลองการแยกแยะจุดแสดงผลอักษรเบรลล์

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาความสามารถในการแยกแยะและระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นที่มีต่อฝ่ามือของผู้บกพร่องทางการมองเห็นโดยเป็นการเปรียบเทียบความสามารถของผู้ทดลองจำนวน 3 คน ซึ่งค่าที่ได้ในช่วงแรกจะเป็นผลการเปรียบเทียบในส่วนของความสามารถในการแยกแยะจำนวนจุดกระตุ้นเพื่อดูแนวโน้มทางด้านพัฒนาการของผู้ร่วมทดลองในการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4-2 และแนวโน้มความถูกต้องแสดงดังภาพประกอบที่ 4-18

ตารางที่ 4-2 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการแยกแยะจุดกระตุ้นก่อนและหลังการฝึกฝน

ผู้ร่วมทดลอง	จำนวนจุดกระตุ้น	ก่อนการฝึกฝน	หลังการฝึกฝน 5ชั่วโมง	หลังการฝึกฝน 10ชั่วโมง
1	1	100%	100%	100%
	2	43.3%	63%	83%
	3	33.3%	50%	67%
	4	37%	47%	70%
	5	47%	67%	80%
	6	73%	83%	93%
2	1	100%	100%	100%
	2	37%	50%	70%
	3	37%	56%	70%
	4	37%	56%	77%
	5	50%	56%	80%
	6	67%	80%	90%
3	1	100%	100%	100%
	2	40%	60%	80%
	3	30%	47%	73%
	4	27%	50%	67%
	5	40%	53%	77%
	6	70%	87%	90%



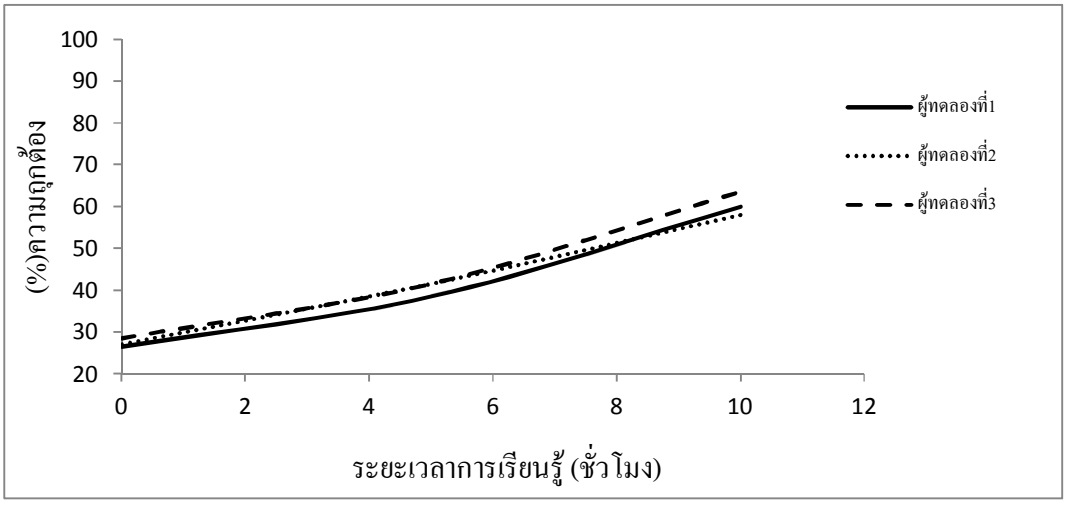
ภาพประกอบที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการแยกแยะจุดกระตุ้นก่อนและหลังการฝึกฝน

จากตารางที่ 4-2 เป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการแยกแยะจุดกระตุ้นบนฝ่ามือ และภาพประกอบที่ 4-18 เป็นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผู้ทดสอบจำนวน 3 คน ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าก่อนการฝึกฝนการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์นั้น เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการแยกแยะจุดกระตุ้นของผู้ร่วมทดลองทั้ง 3 คนจะมีค่าต่ำ แต่เมื่อมีการฝึกฝนการใช้งานจะสังเกตุได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยมีแนวโน้มของความถูกต้องไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 คน

ผลการทดลองขั้นต่อไปจะเป็นการเก็บข้อมูลควบคู่กันกับวิธีการในช่วงแรก โดยจะเป็นการทดสอบความสามารถในการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นที่กระทำบนฝ่ามือ โดยการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ผู้ใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ต้องมีความแม่นยำ มิฉนั้นจะส่งผลให้ไม่สามารถแปลข้อมูลที่กำลังแสดงผลได้อย่างถูกต้อง ผลการทดลองนี้จะเป็นการหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นโดยทำการเปรียบเทียบความสามารถของผู้ทดลองจำนวน 3 คน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-3 และแนวโน้มความถูกต้องแสดงดังภาพประกอบที่ 4-19

ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นก่อนและหลังการฝึกฝน

ผู้ร่วมทดลอง	จำนวนจุดกระตุ้น	ก่อนการฝึกฝน	หลังการฝึกฝน 5ชั่วโมง	หลังการฝึกฝน 10ชั่วโมง
1	1	36%	70%	73%
	2	23%	33%	40%
	3	20%	37%	50%
	4	20%	30%	50%
	5	30%	40%	70%
	6	73%	83%	93%
2	1	43%	60%	70%
	2	20%	33%	53%
	3	27%	37%	43%
	4	27%	40%	50%
	5	26%	43%	63%
	6	67%	80%	90%
3	1	36%	70%	73%
	2	23%	33%	40%
	3	20%	37%	50%
	4	20%	30%	50%
	5	30%	40%	70%
	6	73%	83%	93%



ภาพประกอบที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นก่อนและหลังการฝึกฝน

จากตารางที่ 4-3 เป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นบนฝ่ามือและภาพประกอบที่ 4-19 เป็นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผู้ทดสอบจำนวน 3 คน ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงก่อนการฝึกฝนการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ ผู้ร่วมทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นที่ต่ำมาก เนื่องจากฝ่ามือของผู้ร่วมทดลองยังขาดความคุ้นเคยกับตำแหน่งของอุปกรณ์แสดงผล จึงส่งผลให้เกิดความผิดพลาดเป็นอย่างมาก แต่เมื่อมีการฝึกฝนการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์เป็นระยะเวลาห้าถึงสิบชั่วโมง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นมีค่าเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง ซึ่งถ้าพิจาราณาในส่วนการกระตุ้นในช่วงสองถึงห้าจุดกระตุ้นจะพบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นยังมีค่าไม่ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผู้วิจัยยังถือว่าค่าดังกล่าวยังมีค่าต่ำมาก โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองในส่วนของความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แสดงไว้ดัง ภาคผนวก ก

จากผลการทดลองที่ผ่านมาผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นมีค่าต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์นั้น เนื่องมาจากผู้ร่วมการทดลองมีการขยับฝ่ามือออกจากตำแหน่งเดิม ส่งผลให้ตำแหน่งอ้างอิงในช่วงเริ่มต้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ผู้วิจัยจึงทำการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการสร้างจุดอ้างอิงแบบถาวรให้กับฝ่ามือ เพื่อช่วยให้ผู้บกพร่องทางการ

มองเห็นมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามืออยู่ตลอดเวลาหรือเมื่อมีการขยับฝ่ามือออกจากตำแหน่งเดิมบนอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์

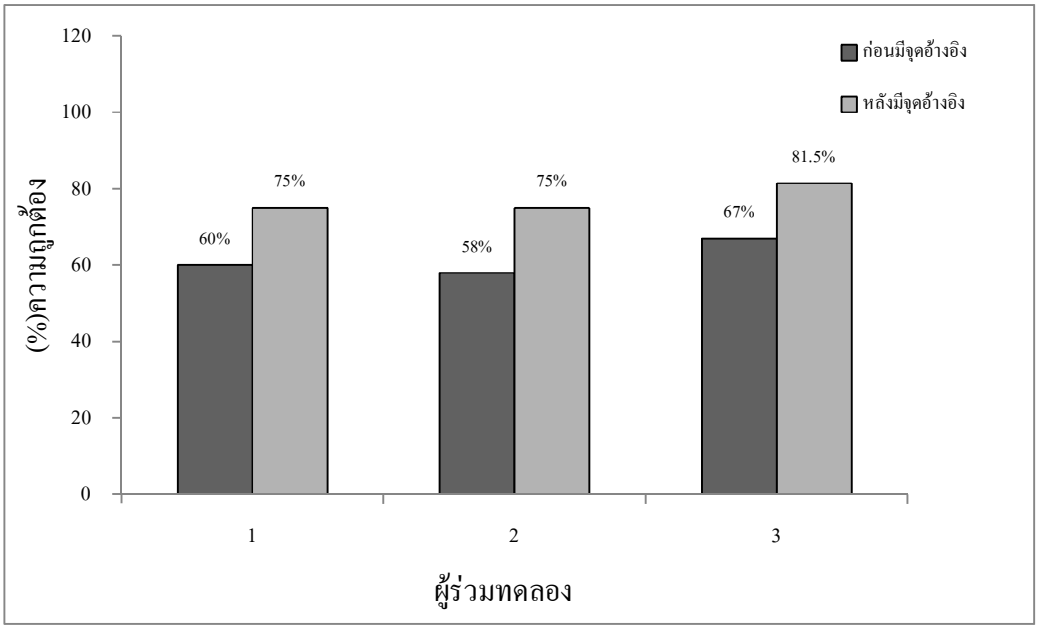
วิธีการสร้างจุดอ้างอิง คือทำการเลือกจุดแสดงผลอักษรเบรลล์ตำแหน่งที่หนึ่งบนตัวเครื่องแสดงผล โดยทำการจ่ายสัญญาณที่มีความถี่ค่าหนึ่งและมีค่าความถี่น้อยกว่าความถี่ใช้งานปกติเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความถี่ในการกระตุ้น ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้เลือกความถี่ในการสร้างจุดอ้างอิงบนฝ่ามือที่มีค่าเท่ากับ 50 Hz จ่ายให้กับจุดแสดงผลที่ตำแหน่งที่หนึ่งแบบต่อเนื่อง ผลที่ได้จะเป็นการเปรียบเทียบการระบุจุดกระตุ้นก่อนการสร้างจุดอ้างอิงและหลังสร้างจุดอ้างอิง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-4 และภาพประกอบที่ 4-20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นแบบไม่มีจุดอ้างอิงและมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามือ

ผู้ร่วมทดลอง	จำนวนจุดกระตุ้น	% การระบุตำแหน่งจุดกระตุ้น (ไม่มีจุดอ้างอิง)	% การระบุตำแหน่งจุดกระตุ้น(มีจุดอ้างอิง)
1	1	73%	87%
	2	40%	73%
	3	50%	70%
	4	50%	77%
	5	70%	73%
	6	93%	93%
2	1	70%	80%
	2	53%	73%
	3	43%	67%
	4	50%	73%
	5	63%	77%
	6	90%	90%

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นแบบไม่มีจุดอ้างอิงและมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามือ (ต่อ)

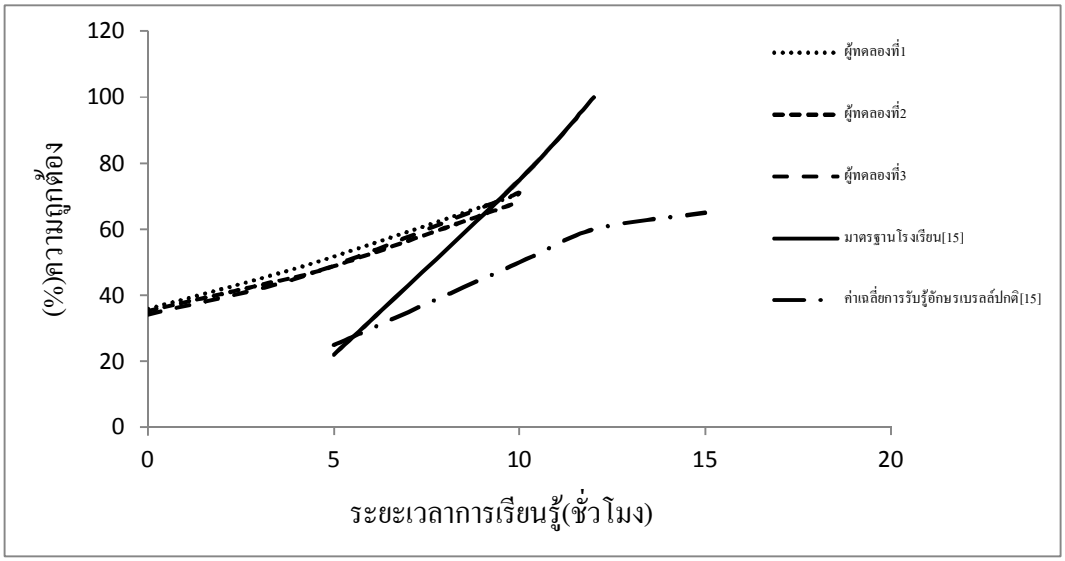
ผู้ร่วมทดลอง	จำนวนจุดกระตุ้น	% การระบุตำแหน่งจุดกระตุ้น (ไม่มีจุดอ้างอิง)	% การระบุตำแหน่งจุดกระตุ้น(มีจุดอ้างอิง)
3	1	77%	87%
	2	50%	83%
	3	40%	77%
	4	67%	77%
	5	67%	80%
	6	90%	90%



ภาพประกอบที่ 4-20 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความถูกต้องในด้านการระบุตำแหน่งของจุดระตุ้นแบบไม่มีจุดอ้างอิงและมีจุดอ้างอิงบนฝ่ามือ

จากตารางที่ 4-4 เป็นการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นระหว่างการสร้างจุดอ้างอิงบนฝ่ามือกับไม่มีจุดอ้างอิง และภาพประกอบที่ 4-20 เป็นความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความถูกต้อง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการสร้างจุดอ้างอิงบนฝ่ามือด้วยจุดกระตุ้นตำแหน่งที่หนึ่ง ผู้บกพร่องทางการมองเห็นจะมีความสามารถในการระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นได้เพิ่มขึ้นคือ ในการกระตุ้นแบบ หนึ่งจุด ถึง หกจุดกระตุ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการแยกแยะจุดกระตุ้นของผู้ร่วมทดลองสามคนมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์โดยสังเกตุได้จากผลการทดลองข้างต้น

ผลการทดลองขั้นต่อไปเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับรู้ข้อมูลระหว่างการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์กับรูปแบบอักษรเบรลล์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ผลที่ได้จะเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับรู้ข้อมูลเฉลี่ยของผู้ทดลองกับค่ามาตรฐาน และค่าเฉลี่ยการเรียนรู้จริงของโรงเรียนสอนคนตาบอดธรรมสากลหาดใหญ่ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-21



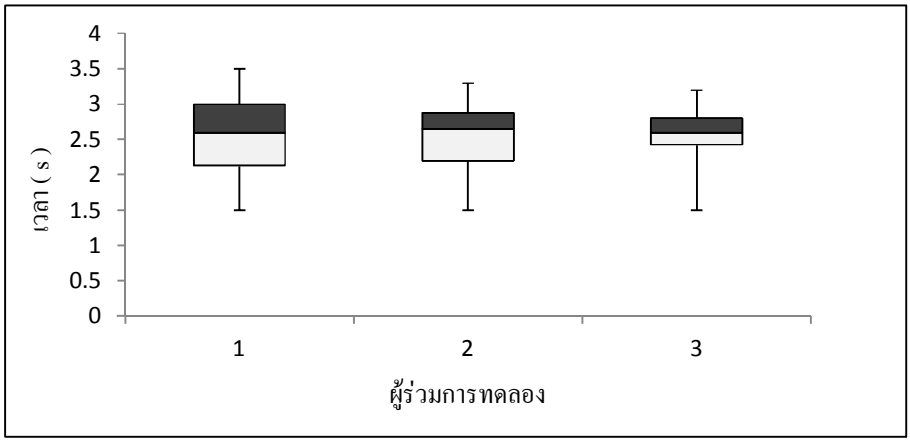
ภาพประกอบที่ 4-21 การเปรียบเทียบความสามารถในการรับรู้ข้อมูลระหว่างการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์กับรูปแบบอักษรเบรลล์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

จากภาพประกอบที่ 4-21 เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับรู้ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์กับการเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบปกติที่มีการใช้งานกันในปัจจุบัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะเวลาการฝึกฝน 5 -10 ชั่วโมงนั้น วิธีการรับรู้ข้อมูลด้วยอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการรับรู้ข้อมูลที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยในการรับรู้จากอักษรเบรลล์ปกติอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องนั้นจะสังเกตุได้ว่าการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรจะมีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าต่างจากการรับรู้จากอักษรเบรลล์ปกติที่มีทิศทางค่อนข้างไม่แน่นอน โดยปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการรับรู้โดยใช้อุปกรณ์แสดงผลสูงกว่าการรับรู้จากอักษรเบรลล์ปกตินั้นอาจเกิดจาก ผู้ร่วมการทดลองมีความรู้พื้นฐานทางด้านอักษรเบรลล์จึงทำให้เกิดความง่ายในการแปลผลเมื่อมีการแสดงผลอักษรเบรลล์

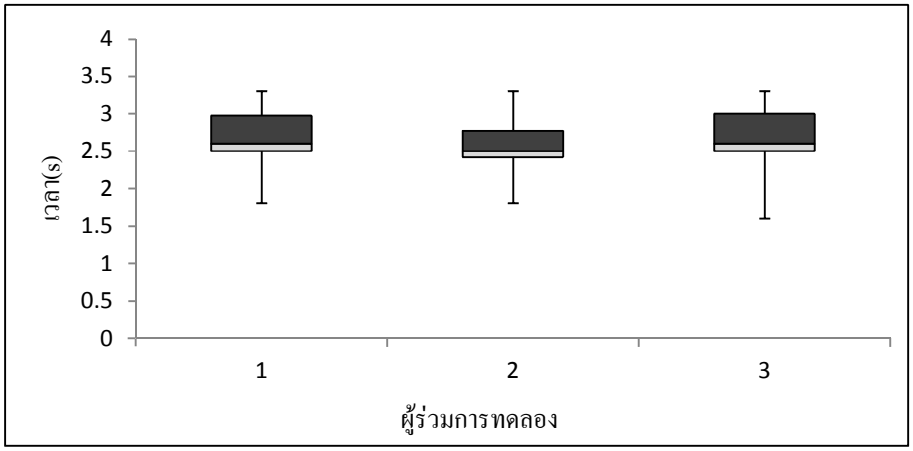
สรุปผลการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการฝึกฝนการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะส่งผลให้การรับรู้จุดกระตุ้นที่กระทำต่อฝ่ามือมีค่าสูงขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้บกพร่องทางการมองเห็นควรจะได้รับการฝึกฝนก่อนการใช้งาน อีกทั้งการสร้างจุดอ้างอิงของตำแหน่งจุดกระตุ้นยังช่วยให้ค่าความถูกต้องในการรับรู้ข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยแนวโน้มในการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้ร่วมการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับการเรียนรู้อักษรเบรลล์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันจากโรงเรียนสอนผู้พิการสามารถแสดงให้เห็นถึงจุดเด่นของอุปกรณ์แสดงผลที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นเป็นอย่างดี ซึ่งแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แสดงไว้ดังภาคผนวก ข

4.4.2 การทดลองหาช่วงความเร็วหรือช่วงเวลาในการรับรู้ข้อมูล

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาระยะเวลาในการรับรู้ข้อมูลซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเวลาในการแสดงผลของพยัญชนะในรูปแบบอักษรเบรลล์ (T_{on}) และช่วงเวลาในการสับเปลี่ยนหรือเลื่อนตำแหน่งการแสดงผลพยัญชนะตัวถัดไป (T_{off}) ผลที่ได้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาของผู้ร่วมทดลองทั้งสามคน ผลการทดลองสำหรับระยะเวลาในการแสดงผลของพยัญชนะในรูปแบบอักษรเบรลล์ (T_{on})แสดงดังภาพประกอบที่ 4-22และช่วงเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งการแสดงผลพยัญชนะตัวถัดไป (T_{off})แสดงดังภาพประกอบที่ 4-23



ภาพประกอบที่ 4-22 ระยะเวลาเฉลี่ยในการแสดงผลของพยัญชนะ (T_{on})

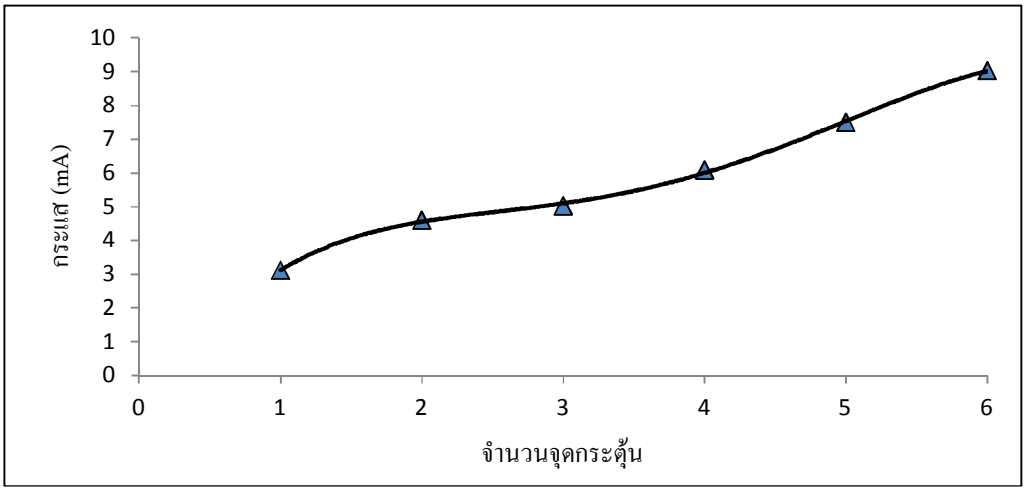


ภาพประกอบที่ 4-23 ระยะเวลาเฉลี่ยในการเปลี่ยนการแสดงผลของพยัญชนะ (T_{off})

จากผลการทดลองดังภาพประกอบที่ 4-22 และ 4-23 เป็นระยะเวลาเฉลี่ยในการรับรู้ข้อมูลจากอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ของผู้บกพร่องทางการมองเห็นจำนวนสามคน ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลไปยังผู้ทดลองจะต้องใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 2-3 วินาทีเพื่อให้ผู้ทดลองนั้นเกิดการรับรู้ข้อมูลและตีความหมายได้ อีกทั้งระยะเวลาในการสับเปลี่ยนข้อมูลก็มีใกล้เคียงกัน หากระยะเวลาดังกล่าวไม่เหมาะสมหรือเร็วเกินไปอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดต่อการรับรู้ข้อมูลที่สำคัญได้ สรุปผลการทดลองข้างต้นระยะเวลาในการแสดงผลข้อมูลจะมีค่าใกล้เคียงกันกับระยะเวลาในการสับเปลี่ยนข้อมูล อีกทั้งระยะเวลาของผู้ทดลองทั้งสามคนยังมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ผู้วิจัยจึงใช้ค่าช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นมาตรฐานในการส่งข้อมูลของระบบแสดงผลอักษรเบรลล์ต่อไป

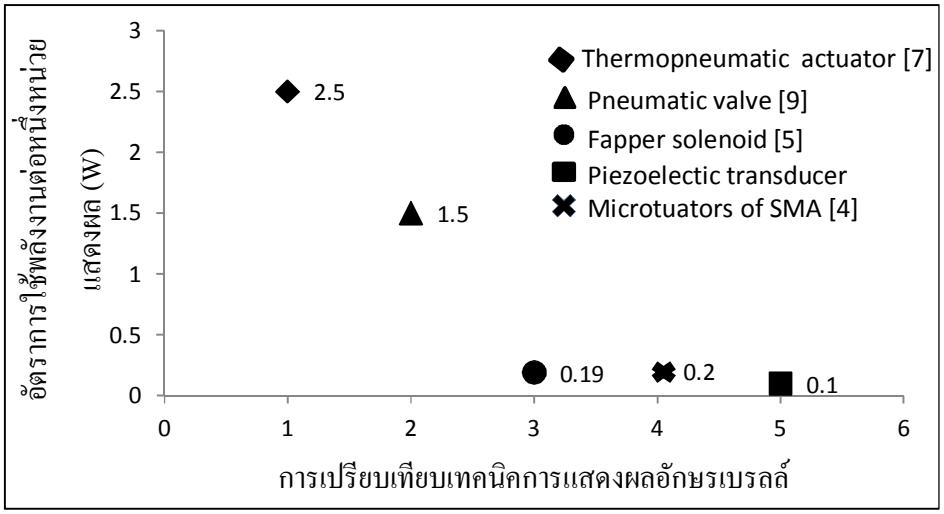
4.5 การทดลองการใช้พลังงานในการแสดงผลอักษรเบรลล์

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาหาอัตราการใช้พลังงานของเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์เมื่อมีการขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ ผลการทดลองเบื้องต้นจะเป็นการศึกษาหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนการแสดงผลจากหนึ่งจุดตำแหน่งกระตุ้นไปยังหกจุดตำแหน่งจุดกระตุ้นผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-24



ภาพประกอบที่ 4-24 อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าต่อจำนวนจุดกระตุ้นในการแสดงผลอักษรเบรลล์

จากภาพประกอบที่ 4-24 เป็นอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าของเปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ในขณะแสดงผลอักษรเบรลล์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนจุดแสดงผลหรือจำนวนเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับการแสดงผลจะมีค่าประมาณ 3 มิลลิแอมป์ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9 มิลลิแอมป์ ในการทดลองขั้นต่อไปผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์กับเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นเพื่อแสดงให้เห็นถึงจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละรูปแบบ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 4-25



ภาพประกอบที่ 4-25 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยกระตุ้น

จากภาพประกอบที่ 4-25 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของแต่ละเทคนิคการแสดงผลอักษรเบรลล์สำหรับหนึ่งหน่วยกระตุ้น ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการแสดงผลด้วย เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะใช้พลังงานต่ำกว่าเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นๆ เพราะฉนั้นจึงสรุปผลการทดลองที่ผ่านมาได้ว่า การแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยหลักการสร้างแรงสั่นสะเทือนจากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะมีคุณลักษณะเด่นในเรื่องของการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่ต่ำ ส่งผลให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์พกพาได้

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดเป็นผลที่ในการออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์และการทดสอบประสิทธิภาพ รายละเอียดและข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบตัวอุปกรณ์แสดงไว้ดัง ภาคผนวก ค

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาข้างต้น สำหรับการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดลองการศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

คุณสมบัติทางด้านอิมพิแดนซ์และมุมเฟสเซอร์จะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่มีผลตอบสนองต่อความถี่ โดยพบว่าในช่วงความถี่ 3.5-3.6 kHz เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะแสดงพฤติกรรมที่เรียกว่า ความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency) ของวัสดุออกมา ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวจะส่งผลให้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนรูปพลังในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ในทางกลับกันเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ก็จะแสดงพฤติกรรมที่เรียกว่า พฤติกรรมต่อต้านความถี่สั่นพ้อง (Anti Resonance Frequency) ซึ่งจะพบพฤติกรรมดังกล่าวในช่วงความถี่ 4.2-4.3 kHz โดยความถี่ข้างต้นเป็นความถี่ที่ควรหลีกเลี่ยงเนื่องจากเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนรูปพลังงานในการทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

คุณสมบัติทางด้านแรงดันไฟฟ้าจะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่มีผลตอบสนองต่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปแบบพลังงาน โดยพบว่ารูปแบบการเคลื่อนตัวทางกลของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะแปรผันโดยตรงกับระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถทำงานได้จะมีค่ายอดเท่ากับ 50 โวลต์ และสามารถเปลี่ยนรูปแบบพลังงานทางกลเป็นระยะการเคลื่อนตัวที่มีค่าประมาณ 0.2 มิลลิเมตร อีกทั้งความแตกต่างในการทำงานภายใต้ระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกันของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แต่ละตัวยังมีค่าใกล้เคียงกันมาก ทำให้การเลือกใช้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สำหรับการขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ทำได้ง่ายยิ่งขึ้น

คุณสมบัติทางด้านการซ้อนทับเพื่อเพิ่มระยะการเคลื่อนตัวทางกลของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เมื่อมีทิศทางในการเคลื่อนตัวเดียวกัน โดยพบว่าในการซ้อนทับเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะส่งผลให้ระยะการเคลื่อนตัวลดลงจากระยะการเคลื่อนตัวเดิม อันเนื่องมาจากการ

ติดตั้งระหว่างชั้นในการซ้อนทับเกิดการดูดกลืนแรงกระทำในการเคลื่อนตัวให้มีค่าลดลง ทำให้ในการออกแบบตัวขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ในแต่ละตำแหน่งใช้เปียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์เพียงหนึ่งเลเยอร์ เนื่องจากให้ระยะการเคลื่อนตัวที่ดีกว่าหลายเลเยอร์

5.1.2 สรุปผลการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์จากเปียโซ-อิเล็ก ทริกทรานสดิวเซอร์

การทดลองทางด้านรูปแบบการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะแสดงให้เห็นถึงเทคนิคการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่ดีที่สุด ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบ edge supporting จะทำให้เกิดระยะการเคลื่อนตัวสูงกว่าการติดตั้งรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากเป็นรูปแบบการติดตั้งดังกล่าวทำให้เปียโซ-อิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เกิดอิสระในการเคลื่อนตัวมากที่สุด ในส่วนของระบบโดยรวมจะพบได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งตัวส่งแรงให้กับเปียโซอิเล็กทริกค่าความถี่สั่นพ้องของวัสดุจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเนื่องจากเป็นการเพิ่มมวลให้กับอุปกรณ์ ซึ่งความถี่สั่นพ้องโดยรวมทั้งระบบที่มีการเพิ่มมวลเสร็จแล้วจะมีค่าประมาณ 1.3 kHz ความถี่ดังกล่าวจะทำให้เกิดระยะการเคลื่อนตัวอยู่ที่ 1.2 ไมโครเมตรซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์สามารถทำได้

การทดลองหาระยะจุดกระตุ้นต่อการรับสัมผัสแสดงให้เห็นถึงการออกแบบระยะและตำแหน่งจุดกระตุ้นที่ดีที่สุดบนฝ่ามือผู้ใช้งาน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระยะกระตุ้นที่ผู้ทดลองให้ค่าคะแนนเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 3 เซนติเมตร แต่ผู้วิจัยเห็นว่าระยะดังกล่าวค่อนข้างใช้พื้นที่บริเวณฝ่ามือเป็นบริเวณกว้างจึงทำการเลือกระยะที่เหมาะสมเพื่อทำการลดขนาดอุปกรณ์และความสามารถในการแยกจุดกระตุ้นของผู้ใช้งานที่ขนาด 1.5 เซนติเมตร เป็นระยะการใช้งาน

การทดลองหาความถี่ที่เหมาะสมในการรับสัมผัสแสดงให้เห็นถึงความสามารถของฝ่ามือของมนุษย์ที่มีต่อความถี่ในการกระตุ้นผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของความถี่ที่ฝ่ามือของผู้ทดลองนั้นมีความสามารถในการรับสัมผัสได้ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงค่าประมาณ 250 -300 Hz เพราะฉนั้นค่าความถี่ความถี่ที่ใช้ในการมอดูเลชั่นจึงประกอบด้วย ค่าความถี่สั่นพ้องของอุปกรณ์มีค่าประมาณ 1.3 kHz และความถี่ที่เหมาะสมกับฝ่ามือมีช่วงค่าประมาณ 250 -300 Hz

5.1.3 สรุปผลการทดลองการการเก็บข้อมูลการทดลองจากผู้บกพร่องทางการมองเห็น

การทดลองการแยกแยะจุดแสดงผลอักษรเบรลล์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับรู้ข้อมูลจากอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ ผลที่ได้ในส่วนเริ่มต้นจะเป็นการแยกแยะและระบุตำแหน่งของจุดกระตุ้นอักษรเบรลล์ก่อนการฝึกฝนการใช้งาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าก่อนการฝึกฝนการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ผู้ร่วมทดลองทำการแยกแยะจุดและระบุตำแหน่ง

จุดกระตุ้นมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากผู้ร่วมทดลองไม่มีความเคยชินกับการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ชนิดนี้ ดังนั้นเมื่อมีการใช้ฝ่ามือเป็นตัวรับจุดกระตุ้นหลายๆ ตำแหน่งพร้อมกันทำให้ผู้ร่วมทดลองรู้สึกถึงการกระตุ้นเป็นจุดเดียวกันทั้งฝ่ามือเป็นส่วนใหญ่

เมื่อมีการฝึกฝนการใช้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์เป็นเวลาห้าถึงสิบชั่วโมงจะพบได้ว่าการแยกแยะจุดกระตุ้นจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึกฝนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่การระบุตำแหน่งจุดกระตุ้นนั้นยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องยังคงมีค่าน้อยอันเนื่องมาจาก เมื่อผู้ร่วมทดลองเกิดการขยับฝ่ามือออกจากตำแหน่งจุดกระตุ้นทำให้เกิดการสับสนถึงตำแหน่งจุดกระตุ้นเดิมส่งผลให้การระบุตำแหน่งนั้นมีค่าความผิดพลาดสูง ผู้วิจัยจึงทำการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างตำแหน่งจุดกระตุ้นอ้างอิงที่ความถี่กระตุ้นต่ำกว่าความถี่ใช้งาน โดยเลือกตำแหน่งจุดกระตุ้นอ้างอิงที่ตำแหน่งที่หนึ่งของรูปแบบอักษรเบรลล์ โดยให้จุดกระตุ้นอ้างอิงดังกล่าวทำงานที่ความถี่ 50 Hz ตลอดการใช้งาน ผลที่ได้จากการสร้างตำแหน่งกระตุ้นอ้างอิงพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ในการแยกแยะจุดกระตุ้นของผู้ทดลองสามคนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 10 – 30 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการสร้างตำแหน่งจุดกระตุ้น

การทดลองหาช่วงความเร็วหรือช่วงเวลาจะแสดงถึงความสามารถทางด้านความเร็วในการรับรู้ข้อมูล ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลไปยังผู้ร่วมทดลองจะต้องใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 2-3 วินาทีเพื่อให้ผู้ทดลองนั้นเกิดการรับรู้ข้อมูลและตีความหมายของข้อมูลดังกล่าวได้ อีกทั้งระยะเวลาในการสับเปลี่ยนข้อมูลก็มีใกล้เคียงกัน โดยหากระยะเวลาดังกล่าวไม่เหมาะสมหรือเร็วเกินไปอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดต่อการรับรู้ข้อมูลที่สำคัญได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นความเร็วข้างต้นเป็นความเร็วพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง หากผู้ใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์มีการพัฒนาทักษะในการรับรู้ข้อมูลก็จะส่งผลให้การใช้เวลาในการแสดงผลมีค่าที่เร็วขึ้นกว่าเดิมเป็นต้น

5.1.4 สรุปผลการทดลองการใช้พลังงานในการแสดงผลอักษรเบรลล์

การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เมื่อมีการขับเคลื่อนการแสดงผลอักษรเบรลล์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนจุดแสดงผลหรือจำนวนเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าต่ำสุดสำหรับการแสดงผลจะมีค่าประมาณ 3 มิลลิแอมป์ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9 มิลลิ-แอมป์ อีกทั้งเมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการแสดงผลอักษรเบรลล์แบบหนึ่งตำแหน่งกับเทคนิคการแสดงผลแบบอื่นแล้ว สามารถพบได้ว่าว่าเทคนิคการแสดงผลด้วยเปียโซอิเล็กทริก-

ทรานสดิวเซอร์จะใช้พลังงานต่ำกว่าเทคนิคการแสดงผลชนิดอื่นๆ ส่งผลให้อุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์มีจุดเด่นทางด้านพลังงานและราคา

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความแม่นยำหรือเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการรับรู้ข้อมูลจากอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์นั้นมีปัจจัยหลักๆคือการฝึกฝนการใช้งาน หากผู้ใช้งานมีการเพิ่มระยะเวลาในการฝึกฝนก็จะส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่แสดงจากอุปกรณ์มีค่าลดลง อีกทั้งยังสามารถเพิ่มระยะเวลาในการรับรู้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ในส่วนของการส่งข้อมูลนั้นผู้วิจัยยังเลือกใช้วิธีการส่งข้อมูลผ่านทางสายเคเบิล ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากหากมีการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์พร้อมกันหลายๆตัว แนวทางในการแก้ไขในอนาคตคือเปลี่ยนวิธีการส่งข้อมูลแบบไร้สายเพื่อจะได้ครอบคลุมกับอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ทุกตัว สำหรับการพัฒนาเป็นอุปกรณ์พกพาแบบมีเซลล์พลังงานในตัวจำเป็นต้องมีวงจรเพิ่มระดับแรงดันให้มีค่าแรงดันสูงสุดที่เปียโซอิเล็กทริกสามารถทำงานได้เพื่อให้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ทำได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

บรรณานุกรม

[1] สถิติผู้พิการประจำปี 2554 , สำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการแห่งชาติ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้ที่ : http://nep.go.th/index.php?mod=tmpstat , 2554

[2] หนังสือเสียงสำหรับคนพิการทางตา,สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้ที่ : http://www.nstda.or.th/nstda-doc-archives/cat_view/64--daisy-book ,2554

[3] นันทกาญจน์ มุรศิต.,แหล่งพลังงานจิ๋ว :วัสดุไพอิโซอิเล็กทริกและไพโรอิเล็กทริก .กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[4] Y. Haga, W. Makishi, K. Iwami, K. Totsu, K. Nakamura and M. Esashi, "Dynamic Braille display using SMA coil actuator and magnetic latch," *Sensors and Actuators A* , 119, pp.316–322, April 2005.

[5] F.H. Yeh, and S.H. Liang, "Mechanismdesign of the flapper actuator in Chinese BrailleDisplay", *Sensors and Actuators A*,135, pp.680-689,Aprill 2007.

[6] H. Hernandez, E. Preza and R. Velazquez , "A Portable eBook Reader for the Blind," in 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS ,2010, pp.2107-2110.

[7] H.J. Kwon, S.W. Lee, and S.S. Lee, "Braille code display device with a PDMS membrane driven by a thermopneumatic actuator," in *21st IEEE international conference on MEMS*, Tucson, USA, 2008, pp. 238-246.

[8] Mad Saad S.et al.,"Development of Piezoelectric Braille Cell Control System Using Microcontroller Unit (MCU)," *wseas transaction on circuits and systems,*9,pp.379-388,June 2010.

[9] Wu X, Zhu H, Kim S-H and Allen M G, "A portable pneumatically- actuated refreshable braille cell," in *Solid-State Sensors Actuators and Microsystems Conference,* 2007, pp.1409-1412.

[10] Z.Qimao , "Braille Mobile Phone," U. S. Patent 0280294, December 14, 2006.

[11] K.Treesoon , “Desing of the Step-down Piezoelectric Transformer,”M.M.E. thesis, Prince of Songkla University.,2009.

[12] สมทรง พันธ์สุวรรณ.,การอ่าน เขียน และพิมพ์อักษรเบรลล์. กรุงเทพฯ,จงเจริญการพิมพ์, 2538.

[13]E.R. Kandel, J.H. Schwartz., *Principles of Neural Science,* 4th Ed. Columbus ,McGraw-Hill,2000.

[14]W.Lijing, S. Liping and Z. Yuerong . “Simulation of piezoelectric sensor-actuators based on multi-piezoelectric effect,”in *Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR), 2nd International Asia Conference* ,2010 ,pp.402-404.

[15] สนอง จวนสาง., มาตรฐานการเรียนรู้อักษรเบรลล์โรงเรียนคนตาบอดธรรมสากลหาดใหญ่ ,Jan.2012

[16]R.Paradon,“Pressure Ulcer Mapping Based on Piezo Transducer,” M.E.E. thesis, Prince of Songkla University.,2009.

[17]H. Hernandez, E. Preza and R. Velazquez “Characterization of a Piezoelectric Ultrasonic Linear Motor for Braille Displays,”in *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2009* , pp.402-407.

[18]A.M. Echenique, J.P. Graffigna, and V.Mut, “Electrocutaneous stimulation system for Braille reading,” in *32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS,2010,pp.5827-5830.*

[19]H. Ko, S. Kim, S. Borodinas, P. Vasiljev, C. Kang and S. Yoon,“A novel tiny ultrasonic linear motor using the radial mode of a bimorph”, *Sensors and Actuators A*, 125, pp 477-481, 2006.

[20] D.M. Durand, G.G. Skebe, F.J. Lisy, M.A. Huff,“A novel integrable microvalve for refreshable
Braille display system,”*IEEE Microelectromechanical Systems*, pp.252-263,2003.

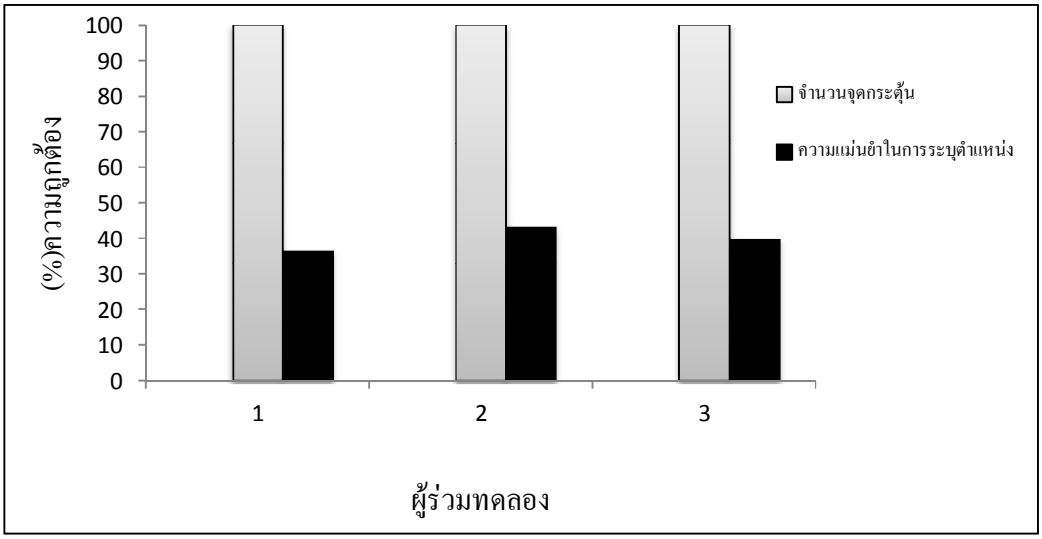
[21] P.M. Taylor, A.Moser, A. Creed, “A sixty-four element tactile display using shape memory alloy wires, Displays,” Tactile Displays,18,pp.163-168,1998.

ภาคผนวก

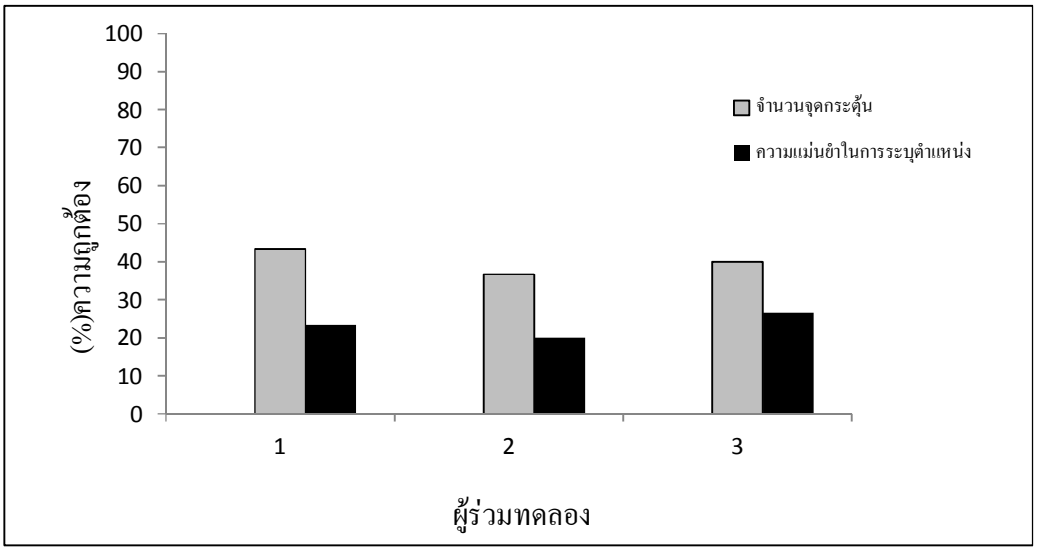
ภาคผนวก ก

รวมผลการทดลอง เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

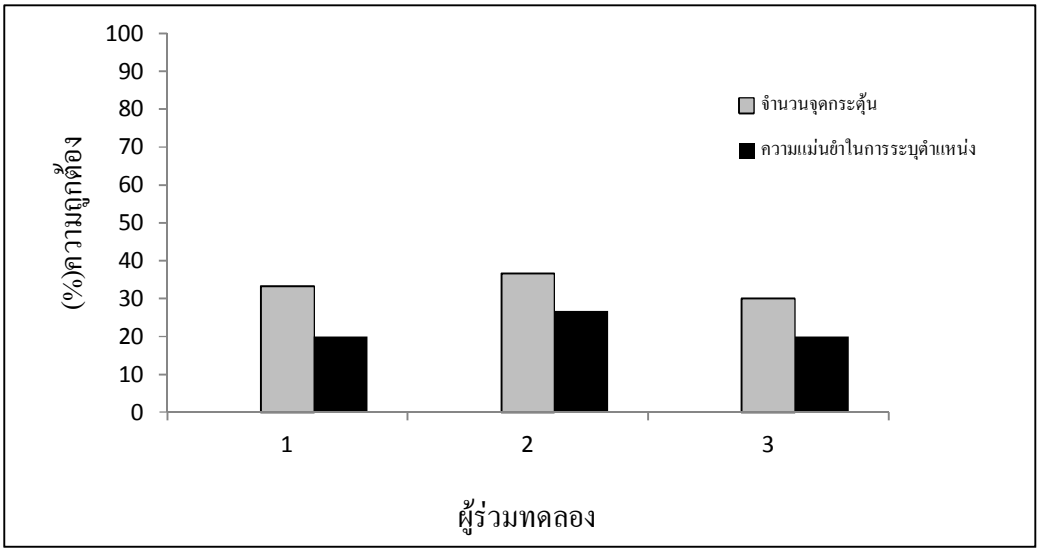
ผลการทดลองก่อนการฝึกฝนการใช้งาน



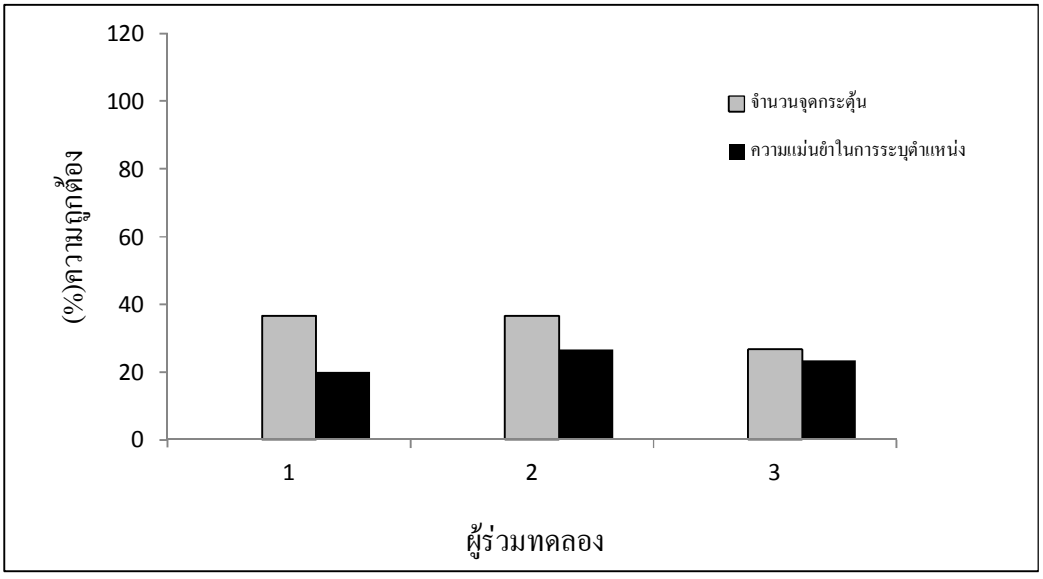
ภาพประกอบที่ ก-1 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 1 จุด



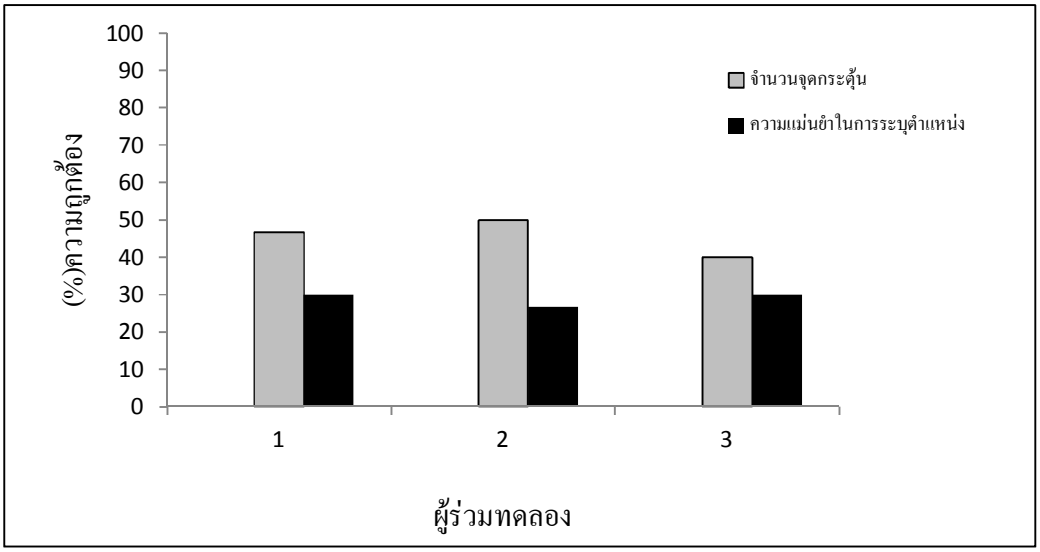
ภาพประกอบที่ ก-2 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 2 จุด



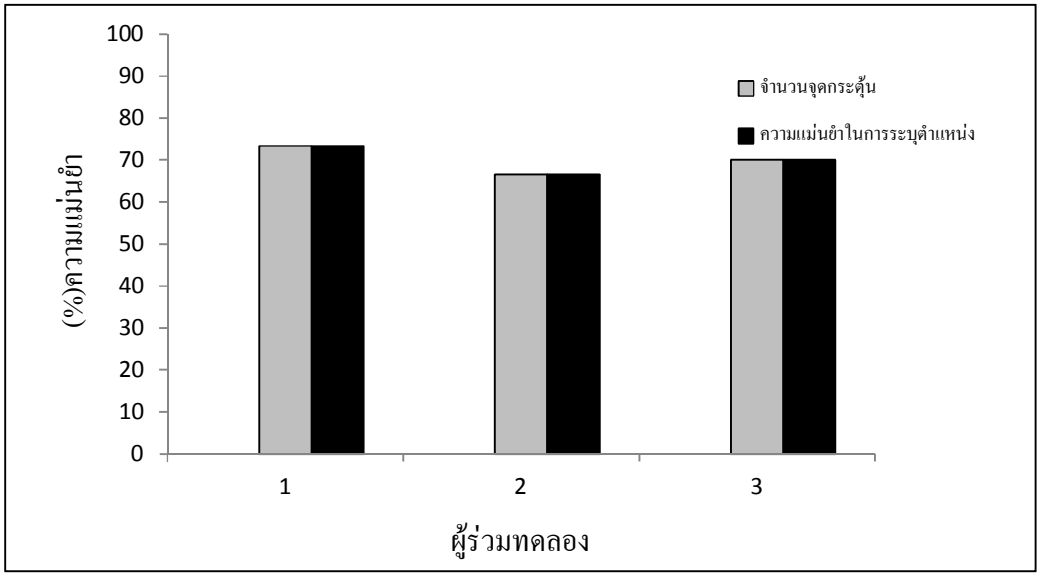
ภาพประกอบที่ ก-3 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 3 จุด



ภาพประกอบที่ ก- 4 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 4 จุด

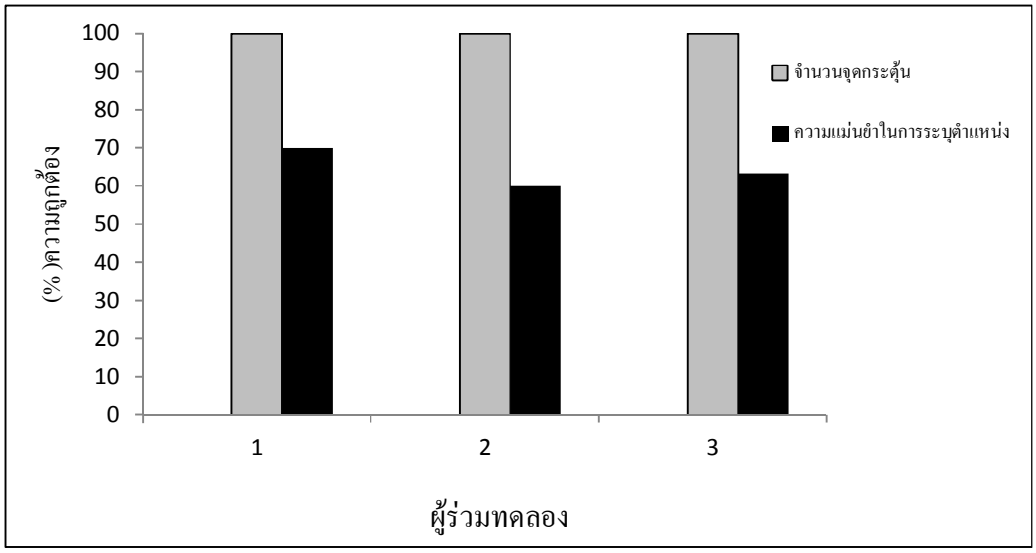


ภาพประกอบที่ ก-5 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 5 จุด

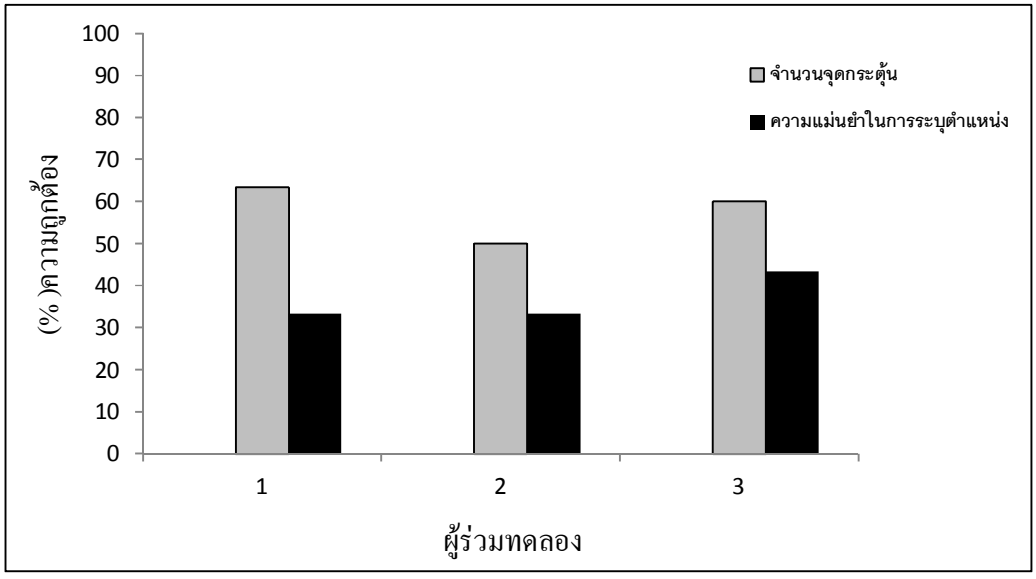


ภาพประกอบที่ ก-6 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 6 จุด

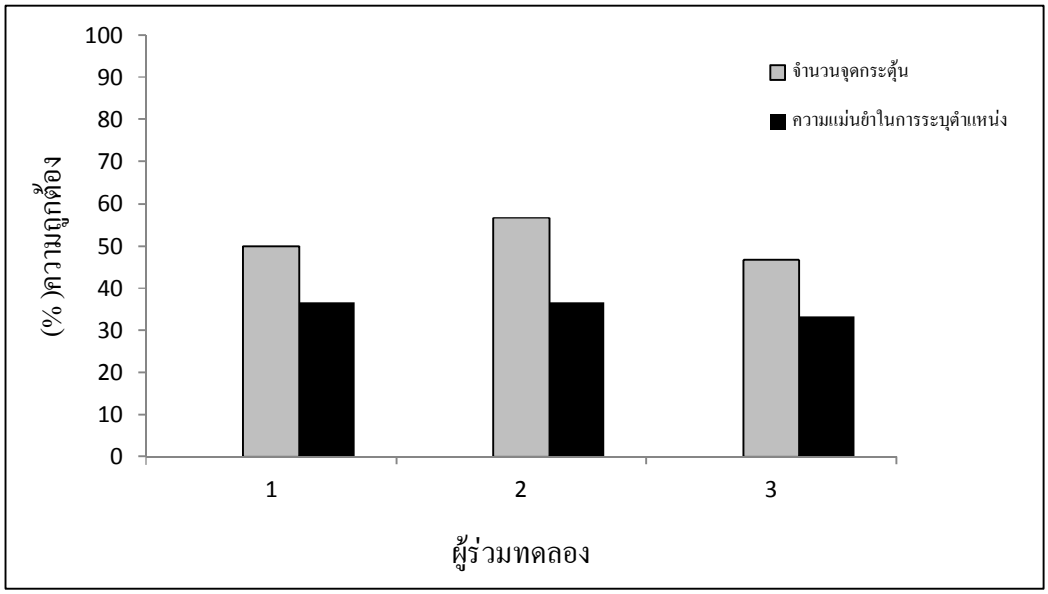
ผลการทดลองหลังการฝึกฝนการใช้งาน 5 ชั่วโมง



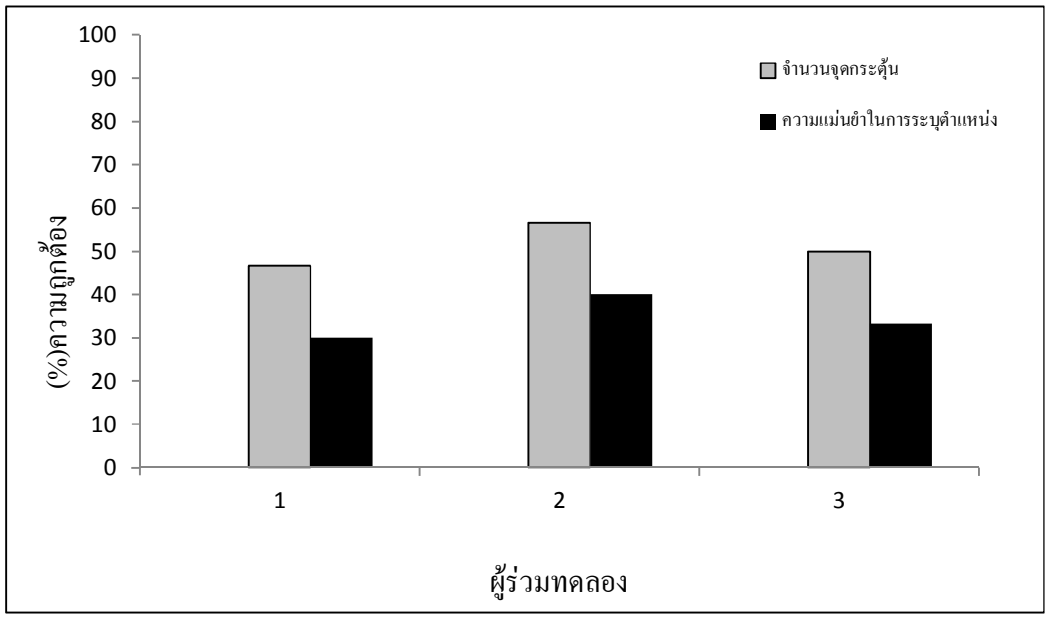
ภาพประกอบที่ ก-7 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 1 จุด



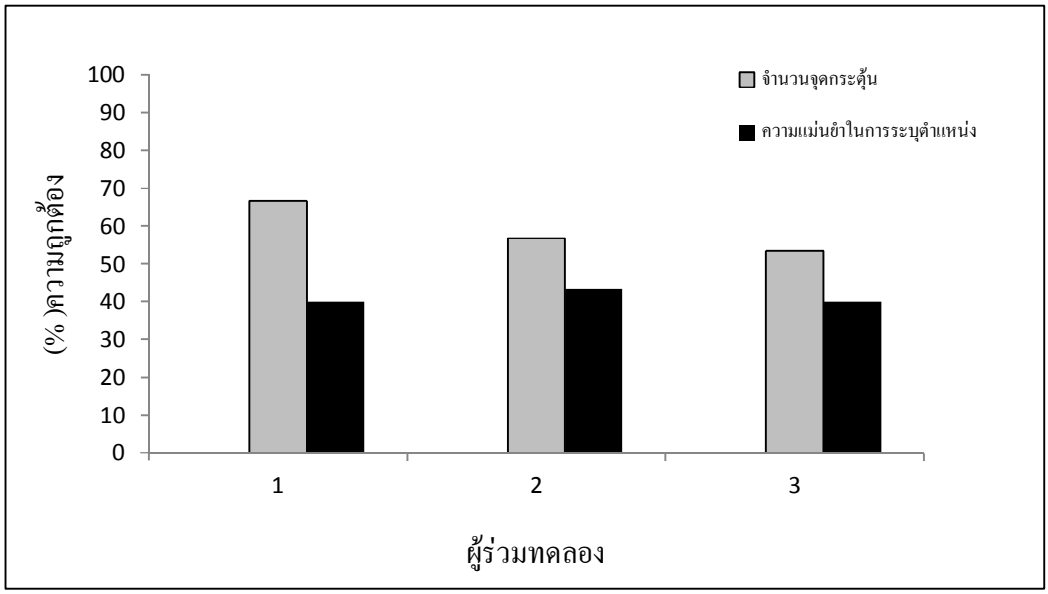
ภาพประกอบที่ ก-8 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 2 จุด



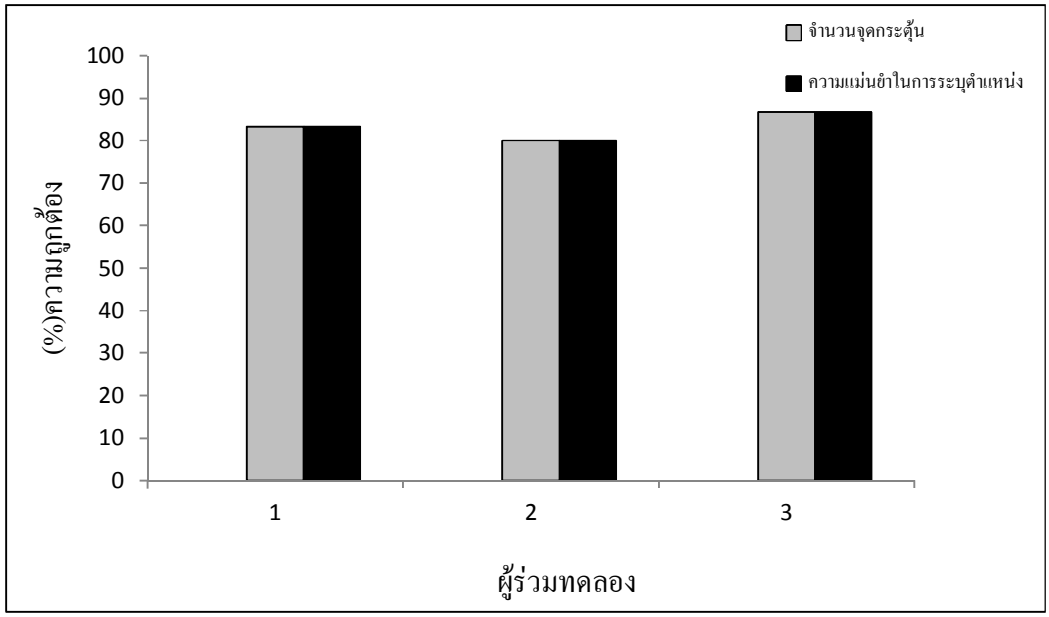
ภาพประกอบที่ ก-9 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 3 จุด



ภาพประกอบที่ ก-10 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 4 จุด

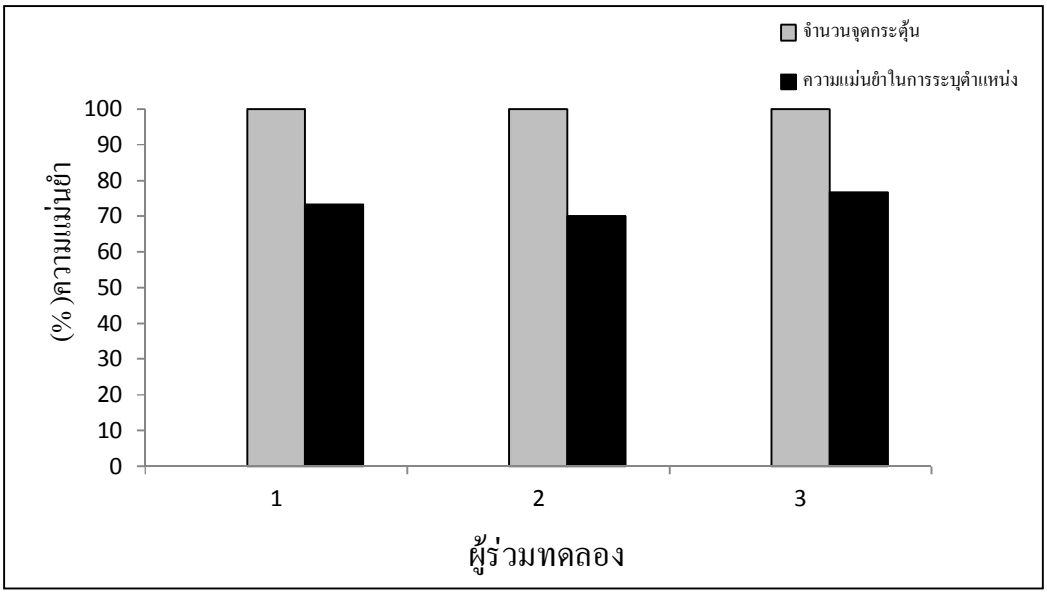


ภาพประกอบที่ ก-11 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 5 จุด

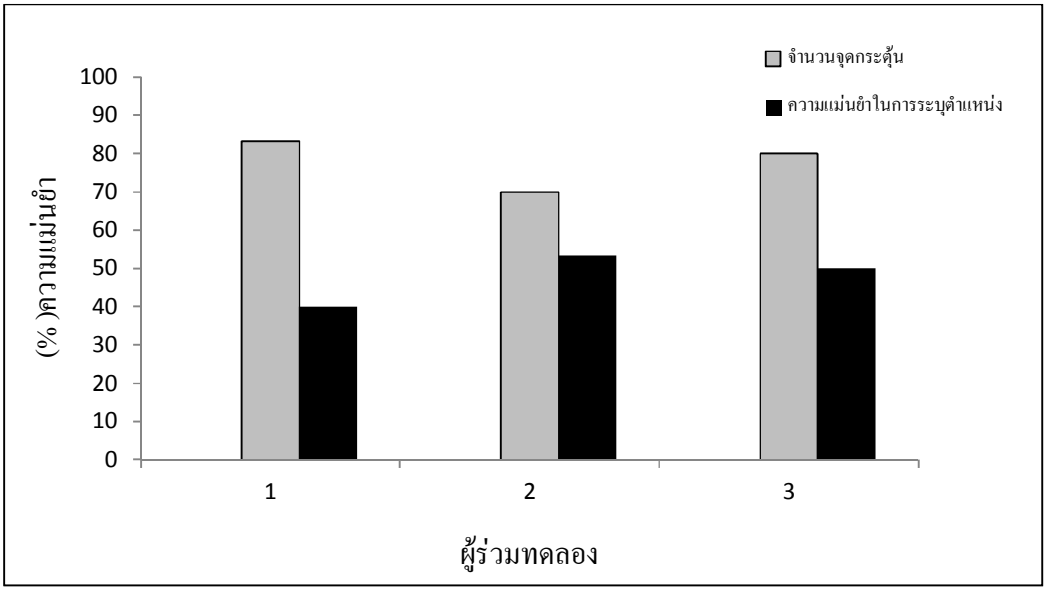


ภาพประกอบที่ ก-12 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 6 จุด

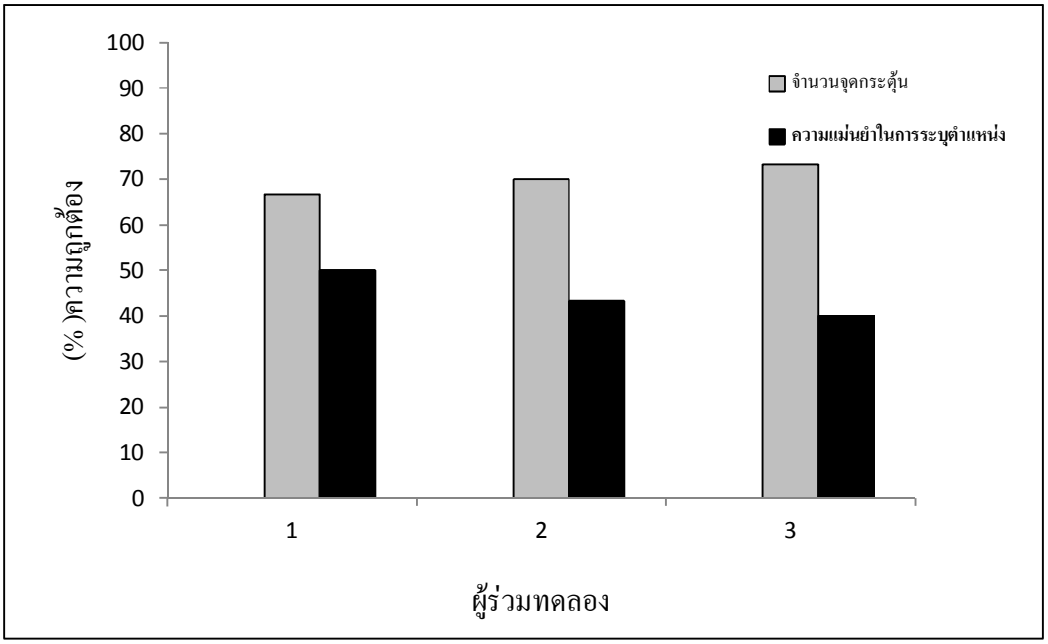
ผลการทดลองหลังการฝึกฝนการใช้งาน 10 ชั่วโมง



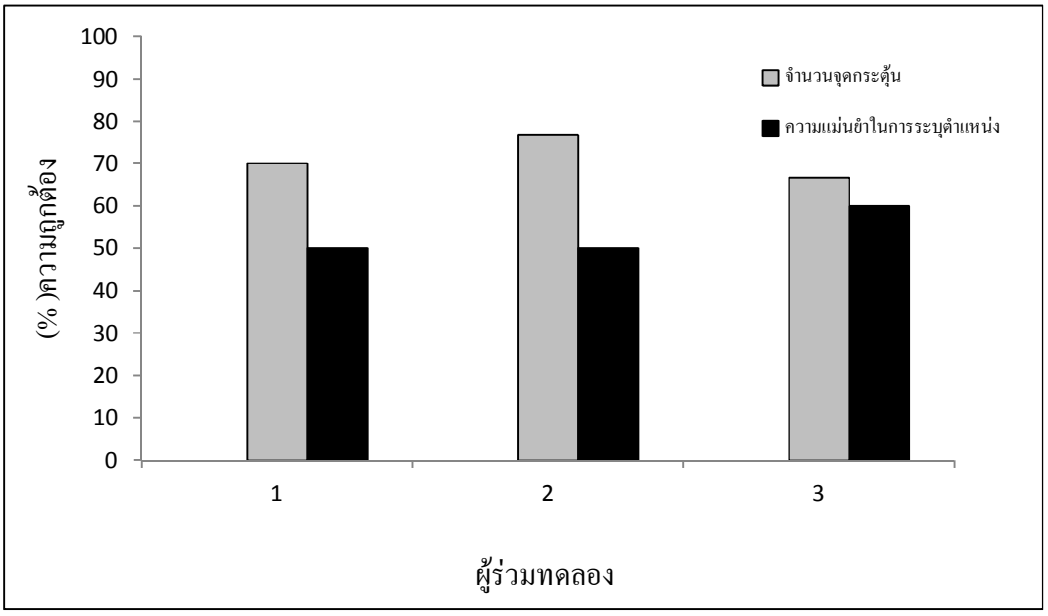
ภาพประกอบที่ ก-13 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 1 จุด



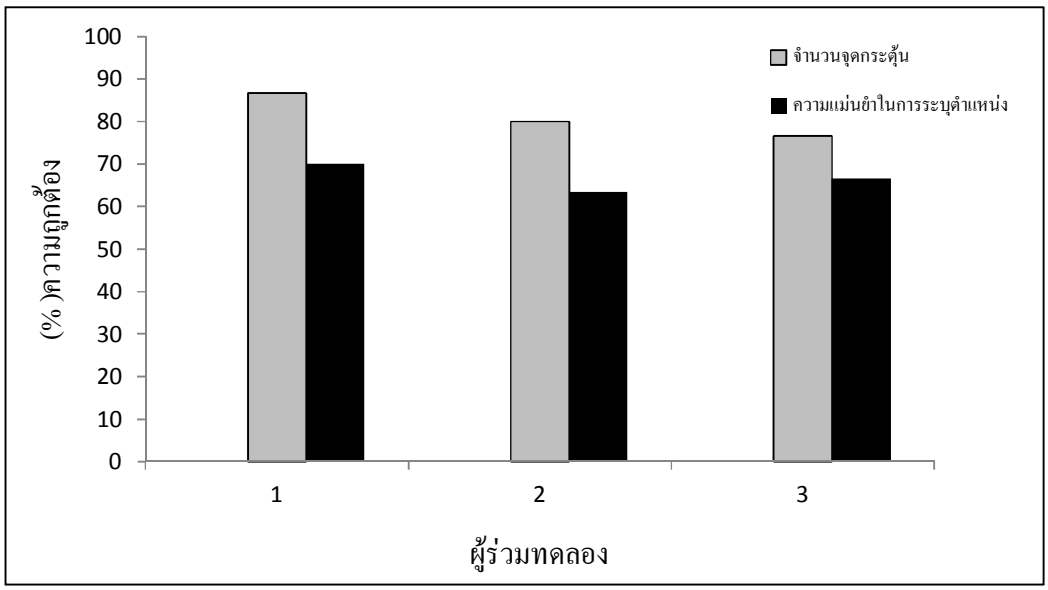
ภาพประกอบที่ ก-14 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 2 จุด



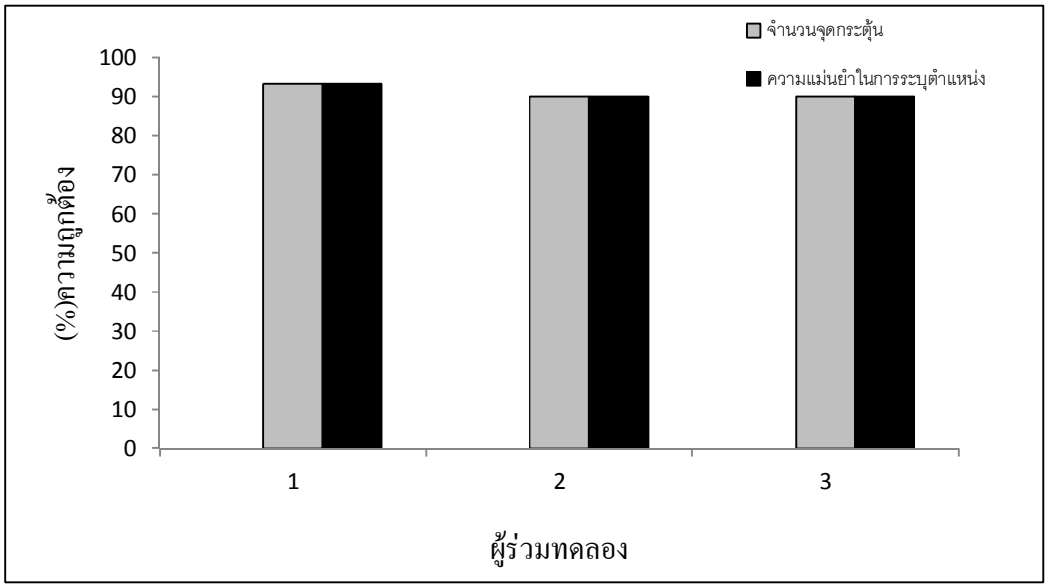
ภาพประกอบที่ ก-15 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 3 จุด



ภาพประกอบที่ ก-16 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 4 จุด



ภาพประกอบที่ ก-17 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 5 จุด



ภาพประกอบที่ ก-18 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและความแม่นยำในการแยกแยะจุดกระตุ้น 6 จุด

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์

ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

ผลการเก็บข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์

ตารางที่ ข – 1 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 1

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 2 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 2

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓		✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 3 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 3

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 4 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 4

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 5 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 5

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

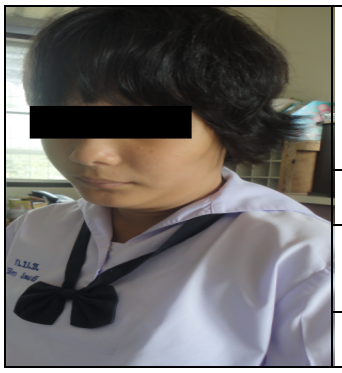
ตารางที่ ข – 6 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 6

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓		✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 7 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 7

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 8 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 8



ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓				✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 9 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 9

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 10 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 10

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 11 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 11

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 12 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 12

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

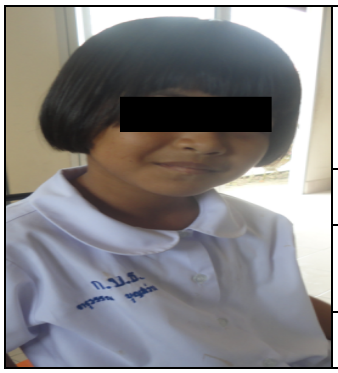
ตารางที่ ข – 13 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 13

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓				✓	✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 14 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 14

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 15 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 15



ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓				✓
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

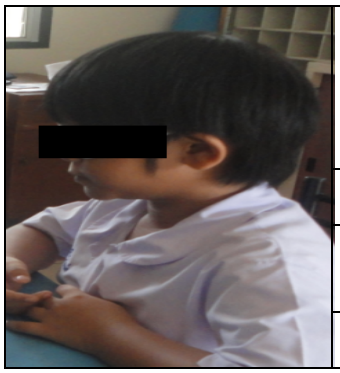
ตารางที่ ข – 16 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 16

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓				✓
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 17 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 17

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓		✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 18 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 18



ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓	✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 19 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 19

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 20 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 20

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 21 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 21

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

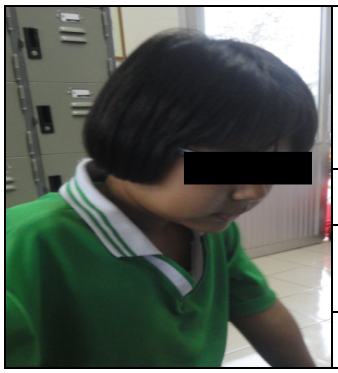
ตารางที่ ข – 22 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 22

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓		✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 23 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 23

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓		✓		✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 24 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 24



ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓	✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 25 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 25

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 26 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 26

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

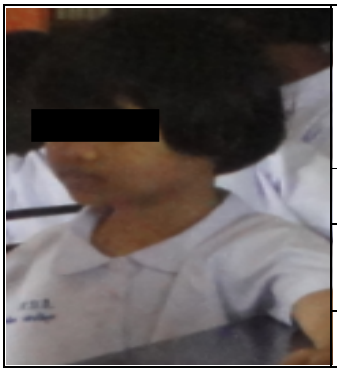
ตารางที่ ข – 27 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 27

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓		✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 28 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 28

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓	✓		
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ตารางที่ ข – 29 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 29



ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
	✓			✓			✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

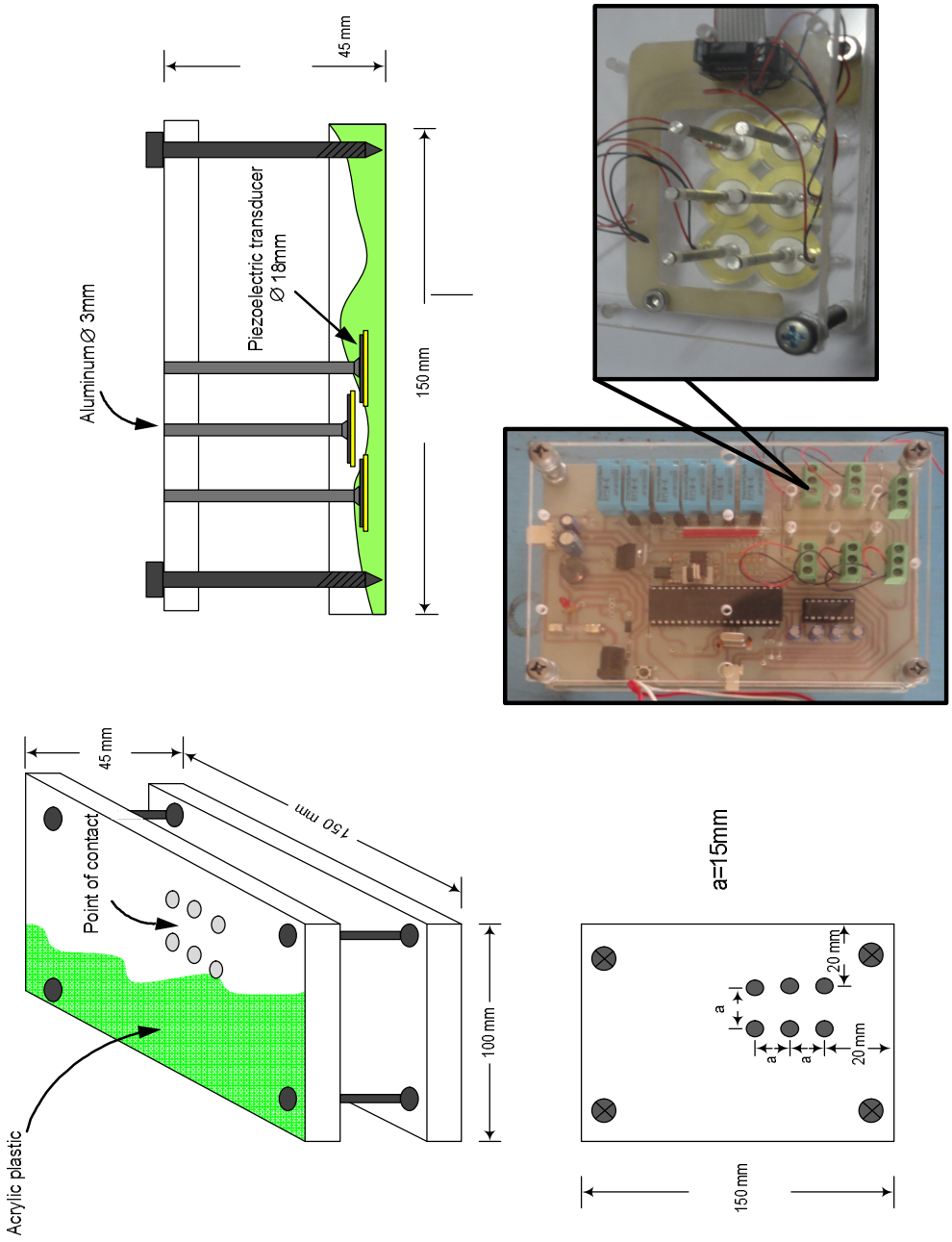
ตารางที่ ข – 30 แบบสอบถามการใช้งานอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ของผู้ทดลองคนที่ 30

ความชื่นชอบในเทคนิคการแสดงผลแบบใหม่			ความง่ายในการรับรู้ข้อมูล			ระดับเสียงรบกวน		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
		✓			✓		✓	
หมายเหตุ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก								

ภาคผนวก ค

รายละเอียดการออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์

ด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์


45 mm
Piezoelectric transducer
Ø 18mm
Aluminum Ø 3mm
150 mm
45 mm
150 mm
Point of contact
Acrylic plastic
100 mm
a=15mm
20 mm
a
a
a
20 mm
150 mm

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายธีรพงษ์ ฉิมเพชร

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5410120034

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนงานวิจัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประจำปีการศึกษา 2555

ทุนศึกษาต่อจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ประจำปีการศึกษา 2554

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ธีรพงษ์ ฉิมเพชร สาวิตร์ ตัณฑนุช บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และ มณเทพ เกียรติวีระสกุล, “การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์บนฝ่ามือด้วยเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์,”*การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่9.*มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม., 6-7 ธันวาคม 2555 , pp. 145-154

ธีรพงษ์ ฉิมเพชร สาวิตร์ ตัณฑนุช บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และ มณเทพ เกียรติวีระสกุล, “การศึกษาคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เชิงพาณิชย์สำหรับอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์บนฝ่ามือ,”*การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 26.*มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี.,13-14 ธันวาคม 2555,pp.89-97